



# La Grande Muraille Verte

*Capitalisation des recherches  
et valorisation des savoirs locaux*

Coordination scientifique  
**Professeur Abdoulaye DIA**  
**Docteur Robin DUPONNOIS**

# La Grande Muraille Verte

Capitalisation des recherches  
et valorisation de savoirs locaux



# La Grande Muraille Verte

Capitalisation des recherches  
et valorisation de savoirs locaux

Coordination scientifique

Professeur Abdoulaye DIA  
Docteur Robin DUPONNOIS

IRD  
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT



Coordination  
Corinne Lavagne

Mise en page  
Alain Doudiès Conseil

Maquette de couverture  
Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure  
Pierre Lopez

La loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2012  
ISBN : 978-2-7099-1738-4

# Sommaire

**Préface** ..... 9

Abdoulaye Dia, Secrétaire exécutif de l'Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte  
Michel Laurent, Président de l'Institut de recherche pour le développement

**Introduction**

**L'Initiative africaine de la Grande Muraille Verte (IAGMV) :  
contexte, vision et opérationnalisation** ..... 11

Abdoulaye Dia et Amadou Moctar Niang

**Partie I**

**Contexte socio-économique et anthropologique** ..... 39

**Capacités d'adaptation des populations burkinabè  
aux effets du changement climatique,  
questionnements sur leurs sociétés et perspectives de recherches** ..... 41

Ram Christophe Sawadogo

**Connaissance des pratiques traditionnelles de gestion de l'environnement :  
préalable et base sociologique de l'efficacité des stratégies actuelles  
de sa conservation** ..... 63

Ram Christophe Sawadogo

**Contraintes et opportunités des mécanismes « carbone »  
dans la mise en œuvre du Projet panafricain de la Grande Muraille Verte  
(PAGMV)** ..... 85

Olivier Hamel

**Déterminants médico-sociaux de l'état de santé en milieu rural sénégalais :  
étude au niveau de deux sites de la Grande Muraille Verte** ..... 149

Lamine Gueye, Sidy Mohamet Seck, Assane Ndiaye, Maimouna Toure, Gilles Boetsch

<b>Partie II</b>	
<b>Qualité des sols et évolution dans un contexte de changements climatiques</b> .....	161
<b>État des sols et évolution dans un contexte de changements climatiques</b> .....	163
Luc Descroix, Arona Diedhiou	
<b>Partie III</b>	
<b>Valorisation et gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux</b> .....	201
<b>Zai et potentiel de l'association cultures annuelles-arbustes natifs</b> .....	203
Rabah Lahmar, Hama Yacouba	
<b>Programme de la Grande Muraille Verte : défis, stratégies et attentes des acteurs du Togo</b> .....	225
Kouami Kokou, Kossi Adjojou, Adzo Dzifa Kokutse, Aboudou Raoufou Radji, Oyétoundé Djiwa, Tadanlenga Yatombo	
<b>Mycorhization contrôlée et fertilisation phosphatée. Applications à la domestication du jujubier, arbre fruitier forestier sahélien</b> .....	253
Amadou M. Bâ, Tiby Guissou, Robin Duponnois, Christian Planchette, Ousmane Sacko, Daouda Sidibé, Kondé Sylla, Baba Windou	
<b>La lutte contre les aléas climatiques au Burkina Faso. Acquis et défis de l'agro-écologie : le cas de la Région Nord</b> .....	265
René Billaz	
<b>Partie IV</b>	
<b>Gestion durable des terres : restauration, conservation, protection et valorisation</b> .....	319
<b>Aménagements hydrauliques innovants pour la gestion conservatoire des eaux et des sols sur le tracé de la Grande Muraille Verte</b> .....	321
Jean Albergel, Salif Diop	
<b>La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides : un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo-saharienne</b> .....	351
Robin Duponnois, Mohamed Hafidi, Sanâa Wahbi, Arsène Sanon, Antoine Galiana, Ezékiel Baudoin, Hervé Sanguin, Amadou Bâ , Yves Prin, René Bally	
<b>Les rhizobactéries productrices d'exopolysaccharides et la gestion durable des sols</b> .....	371
Thierry Heulin, Wafa Achouak	

**Inoculation des plantes cultivées avec des micro-organismes symbiotiques : du transfert de technologie à la construction d'un partenariat multi-acteurs** ..... 379

Marc Neyra, Hamet Aly Sow, Marius Dia,  
Ibrahima Ndoye, Aboubacry Kane, Diégane Diouf,  
Inamoud Yattara, Frédérique Jankowski, Joëlle Le Marec,  
Antoine Le Quéré, Tania Wade

**Partie V**

**Développement des communautés locales et gouvernance des ressources naturelles** ..... 393

**Analyse de quelques expériences de gestion locale des ressources naturelles communes au Sahel** ..... 395

Bernard Bonnet

***Jatropha curcas* L. au Sénégal : enjeux, état des lieux de sa culture et possibilités d'intégration dans les aménagements de la Grande Muraille Verte** ..... 413

Ibrahima Diedhiou, Djiby Dia,  
Cheickh Sadibou Fall

**Partie VI**

**Techniques forestières et innovations dans les opérations de reboisement en milieux arides et semi-arides** ..... 431

**Techniques forestières et innovations dans les opérations de reboisement** ..... 433

Ronald Bellefontaine, Michel Malagnoux,  
Aboubacar Ichaou

**Reboisements à base d'essences exotiques, allélopathie et mycorhization contrôlée. Améliorer la mise en œuvre de la Grande Muraille Verte** ..... 471

Arsène Sanon, Fatou Ndoye

**Conclusion** ..... 489

Robin Duponnois,  
Abdoulaye Dia

**Sur cd-rom joint à l'ouvrage**

**Partie VII**

**L'expertise collégiale du « projet Jachère »**

Victor Hien, Dominique Masse, Christian Floret

**L'expertise collégiale du « projet Jachère »**

Résultats de recherches transférables en milieu paysan  
dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest

Christian Floret, Victor Hien, Philippe Jouve, Roger Pontanier

**Dynamiques agraires, jachères et contextualisation des résultats**

Philippe Jouve

**Jachère et fertilité**

Robin Duponnois

**Jachères, produits de cueillette et biodiversité**

Jean Lejoly

**Jachères et production fourragère**

Christian Floret

**Jachères et agroforesterie**

Pape N. Sall

**Proposition de recherches complémentaires**

Christian Floret, Robin Duponnois

**Mettre les acquis des recherches au service du développement**

Cécile Broutin,

avec la collaboration de Christian Castellanet et Philippe Lavigne Delville

**Partie VIII**

**Pastoralisme en zone sèche.**

**Le cas de l'Afrique subsaharienne**

**Dossier thématique, Comité scientifique français de la désertification (CSFD)**

Bernard Toutain, André Marty, André Bourgeot, Alexandre Ickowicz, Philippe Lhoste

# Préface

*La Grande Muraille Verte. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux* est le deuxième ouvrage consacré à la Grande Muraille Verte (GMV). Il fait écho à un premier ouvrage édité en 2010, *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte. Concepts et mise en œuvre*, qui proposait une approche conceptuelle et mettait en perspective des contributions sur les techniques utiles à l'édification de la Grande Muraille Verte.

Ce deuxième opus réunit, dans un même volume, les synthèses pluridisciplinaires scientifiques et techniques sur divers aspects de la gestion durable des zones arides d'Afrique. Cet exercice de synthèse et de capitalisation de données nécessaires à l'édification de la Grande Muraille verte est original et revêt une importance particulière dans la stratégie de mise en œuvre de la GMV.

La méthodologie adoptée est à la fois holistique et sectorielle. Capitaliser les données issues des programmes et travaux scientifiques et les savoirs locaux est une des conditions de réussite de la GMV.

L'introduction de l'ouvrage, « L'Initiative africaine de la Grande Muraille Verte (IAGMV) » expose la vision, les objectifs et les résultats attendus. Elle présente un panorama du contexte d'émergence, avec ses contraintes et ses défis, et revient sur les trois conventions des Nations unies sur la désertification, le changement climatique et la planification stratégique de sa mise en œuvre. Cette partie de l'ouvrage permet aux acteurs et aux partenaires d'avoir une meilleure compréhension du concept « Grande Muraille Verte » : son importance dans l'émergence d'un leadership africain, la contribution importante de l'Afrique dans les stratégies d'adaptation et de résilience et le développement d'une économie verte. La recherche thématique et opérationnelle et la valorisation des savoirs locaux disposent d'une place de choix dans le Portefeuille de programmes prioritaires « Recherche d'accompagnement et Développement » (RA&D) du plan d'action 2011-2015.

Les autres parties de l'ouvrage constituent une synthèse pluridisciplinaire. Elles présentent un état des lieux des connaissances et des initiatives sur la gestion des problématiques de la désertification, des changements climatiques, de la dégradation des terres et de leurs impacts socio-économiques ainsi que la caractérisation des systèmes de production agricoles et pastoraux. Elles agrègent, dans un même ouvrage, l'ensemble des résultats, expériences, techniques et autres données pertinentes issues de la recherche scientifique, des pratiques et des savoirs traditionnels acquis au cours des cinquante dernières années.

Enfin, le présent ouvrage de capitalisation sur la gestion des terres arides du Circum-Sahara arrive à point nommé. Il constitue une base référentielle, utile tant aux acteurs, bénéficiaires et partenaires de la Grande Muraille Verte qu'aux chercheurs, doctorants, et décideurs nationaux et internationaux qui ambitionnent de s'investir pour le développement rural des zones arides d'Afrique.

Ce recueil nous renvoie à des réalités que nous ne devons jamais perdre de vue :

- la lutte contre la désertification et les changements climatiques, la conservation des ressources naturelle et de la diversité biologique constituent des enjeux planétaires, mais aussi des priorités majeures pour les États de la bande sahélienne localisés dans des domaines arides et fortement assujettis à ces aléas ;
- la croissance démographique des pays des zones arides a connu une augmentation de 18 % au cours des années 1990, alors que sur la même période, la productivité des terres et les revenus ont fortement diminué, laissant place à la pauvreté et à la famine ;
- les zones rurales représentent le plus souvent plus de 60 % de la superficie des pays de la bande sahélienne et renferment néanmoins des potentialités naturelles souvent insuffisamment valorisées et encore peu intégrées dans les politiques nationales de développement ;
- la régénération naturelle de la strate végétale et du sol des zones arides tarde à venir.

L'Initiative Grande Muraille Verte s'impose comme une nouvelle stratégie de développement du monde rural, dont la mise en œuvre bénéficiera des apports de cet ouvrage.

Professeur Abdoulaye DIA  
Secrétaire exécutif de l'Agence panafricaine  
de la Grande Muraille Verte  
APGMV

Michel LAURENT  
Président de l'Institut de recherche  
pour le développement  
IRD

## Introduction

# L'Initiative africaine de la Grande Muraille Verte (IAGMV) : contexte, vision et opérationnalisation

ABDOULAYE DIA

Professeur titulaire des Universités, Faculté des Sciences et Techniques  
de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar;

Secrétaire exécutif Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte, BP 395, Bololo, N'Djamena, Tchad

AMADOU MOCTAR NIANG

Ingénieur des Eaux et Forêts, ancien Directeur Général du Centre de Suivi Écologique de Dakar, Sénégal

## Résumé

En considérant l'arbre comme un élément majeur régissant l'évolution spatio-temporelle des milieux sahéliens et en conséquence toutes les activités socio-économiques qui en découlent, l'approche « Grande Muraille Verte » repose principalement sur l'identification et la promotion de pratiques de gestion durable des terres, le renforcement des services socio-économiques de base et l'autonomisation durable des populations rurales. Elle comporte un package cohérent d'actions et d'interventions multisectorielles à des fins de repositionner ces zones arides comme des catalyseurs de l'émergence économique des pays sahéliens, d'éradication de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire.

L'Initiative africaine de la Grande Muraille Verte (IAGMV), d'envergure continentale et à multiples défis et problématiques complexes, nécessite dans son opérationnalisation une stratégie multisectorielle, une synergie des interventions et une démarche participative. Au plan opérationnel, il s'agit d'une approche écosystémique et holistique intégrant toutes les composantes et contraintes des terroirs. La stratégie opérationnelle pour la GMV est régionale, toutefois du fait de quelques spécificités des contextes biophysiques, pédologiques, culturels et socio-économiques d'un pays à un autre, l'approche intègre le profil pays, notamment la situation de référence contextuelle touchant le développement humain et la situation environnementale.

Diverses politiques et stratégies opérationnelles à différentes échelles institutionnelles, traduites en programmes multisectoriels, ainsi que des recherches thématiques de



caractérisation, de prévention, de lutte et de restauration ont été menées sur les terres arides au cours des cinq dernières décennies de l’Afrique. Ces nombreuses et diverses actions déroulées dans des zones écogéographiques et phytobio-géographiques à caractéristiques variées ont permis de bâtir une masse importante d’expériences, de pratiques et de données scientifiques et techniques pertinentes, indispensables à capitaliser. À cela s’ajoute un important savoir traditionnel endogène qui a permis aux populations de lutter et de développer à travers des décennies des techniques d’adaptation et de résilience face aux aléas climatiques et environnementaux. Malheureusement, les effets conjugués de la désertification, du changement climatique et de la dégradation des écosystèmes ont rendu ces populations très exposées et très vulnérables.

La mise en œuvre de la Planification stratégique de l’Initiative repose d’abord et avant tout sur la capitalisation des données et pratiques pertinentes « best practices » et des éléments de situation de référence, notamment des informations scientifiques en matière d’environnement, de santé et de société afin d’établir un état des lieux au niveau des régions concernées par la GMV. C’est dans ce cadre que se positionne ce projet d’ouvrage intitulé *La Grande Muraille Verte. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux*. Notre contribution introductive « Initiative africaine de la Grande Muraille Verte (IAGMV) : contexte, vision et opérationnalisation », ci-après, présente les divers aspects conceptuels, stratégiques et d’opérationnalisation de l’IAGMV, objet de l’ouvrage de capitalisation.

Mots clés :

ZONES ARIDES, CAPITALISATION, EXPÉRIENCES, SAVOIRS TRADITIONNELS, MURAILLE VERTE, OPÉRATIONNALISATION

## I. Contexte de l’émergence de l’Initiative

Les pays sahélo-sahariens du Circum-Sahara sont confrontés depuis quelques décennies à plusieurs défis environnementaux, climatiques et une pression anthropique forte sur les ressources naturelles qui ont sérieusement perturbé les grands équilibres écologiques. Les changements climatiques et les actions anthropiques, en particulier les terroirs saturés et dégradés, le surpâturage et la transhumance, les défrichements expéditifs, les feux de brousse, les pratiques agricoles non appropriées et la surexploitation des sols peu productifs, sont autant de faits qui ont aggravé les impacts de l’irrégularité des pluies utiles, l’aridification du climat et favorisé l’avancée de la désertification et la dégradation des terres. Les effets conjugués et persistants de la désertification et des changements climatiques ont abouti à la destruction des équilibres triptyques *Développement/Ressources naturelles/Environnement* et ont engendré une forte détérioration des écosystèmes et des systèmes de production ainsi que des impacts sociaux, économiques et démographiques importants.

Dans la bande sahélienne au sud du Sahara, au moins 60 % des territoires sont arides à semi-arides et dans des zones rurales à vocation essentiellement agro-sylvo-pastorale. Les statistiques signalent à l'échelle des onze (11) pays sur l'axe Dakar-Djibouti, une perte annuelle de 1,8 million d'hectares (FAO, 2006) de couvert végétal et de superficies de terres arables. La dégradation poussée des terres et du couvert végétal a accéléré les processus de lessivage et altéré la structure, les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des terres. Ces processus ont entraîné dans les cycles biogéochimiques la perte de composants importants tels que C, N et P et de symbioses fongiques avec les champignons mycorrhiziens et ont ainsi engendré une perte de la fertilité et de la résistance aux stress biotiques et abiotiques des sols. Des décennies durant, de mauvaises pratiques culturales et d'occupation des sols ont abouti à une chute de la productivité des systèmes productifs ruraux et à une baisse importante de la production agricole et pastorale.

En dépit des stratégies et des politiques agricoles développées tant au niveau national que sous-régional, le plus souvent encadrées par une loi agro-sylvo-pastorale, l'agriculture, jadis source importante de revenus et d'emplois, est devenue peu attractive et peu prometteuse dans ces « terres marginales ». La réponse des populations, face à l'hostilité du milieu, à la détérioration des systèmes et des capacités de production et en l'absence de ressources alternatives durables, a été le plus souvent le dépeuplement, l'intensification des flux migratoires, la transhumance et le nomadisme vers de « nouvelles zones » reliques. Cependant, les populations autochtones restées dans les terroirs ont toujours développé certaines formes d'adaptation et de résilience par des pratiques conservatoires issues de leurs savoirs traditionnels pour préserver un équilibre précaire entre prélèvement et renouvellement des ressources. Malheureusement, les impacts de la désertification exacerbés par les changements climatiques et la forte compétition sur les ressources naturelles ont rendu ces formes d'adaptation peu adaptées dans les terroirs. Les systèmes agraires, pastoraux et écologiques sont transformés et leurs fragiles équilibres rompus, ce qui entraîne des impacts et des conséquences directs sur les modes et moyens d'existence et le cadre de vie des populations. Cette situation à laquelle sont confrontées depuis quelques décennies les zones arides a installé la précarité, l'insécurité alimentaire voire la famine, la chute des revenus et des chaînes de valeur et la pauvreté, et a occasionné la destruction du tissu social et économique dans la plupart des terroirs du Sahel. Ainsi, plus de 60 % des foyers de pauvreté et exposés à l'insécurité alimentaire, voire à la famine, sont situés dans les zones rurales des pays subsahariens où sont enregistrés les Indices du développement humain (IDH) parmi les plus bas du monde et la plus faible probabilité d'atteinte des OMD d'ici à 2015. Cette situation, aberrante du fait de l'importance du potentiel existant, pose pour l'Afrique et le Sahel en particulier l'urgence de la prise en charge de la problématique de son Développement durable par d'autres alternatives et approches pour apporter une solution pertinente, au risque d'hypothéquer définitivement les potentialités de développement.

Certes, des efforts au plan technique, financier et institutionnel sont consentis pour infléchir ces tendances. Ils ont porté sur la mise en œuvre à l'échelle nationale et sous-régionale de projets de développement et de plans de gestion des ressources naturelles. En effet, la plupart des pays du Sahel ont initié depuis quelques années, en

application des conventions des Nations unies, des stratégies fondées sur la diversification agricole, les actions de lutte contre la désertification et la dégradation des sols, le développement des cultures de crue, les techniques efficaces de maîtrise, de gestion et de protection des ressources en eau. Les politiques et stratégies de développement rural, en particulier les politiques agricoles, forestières et pastorales, de développement communautaire et de gouvernance locale des ressources naturelles, fondées sur une plus grande responsabilisation des collectivités locales, menées dans ces pays n'ont pas, malgré quelques réussites ponctuelles, permis d'inverser les tendances et d'optimiser les potentialités économiques des terroirs. Les Programmes-cadres nationaux, sous-régionaux et régionaux mis en œuvre et ayant mobilisé d'importantes ressources financières – notamment le PDDAA (Programme détaillé de développement de l'agriculture en Afrique), les Plans d'action régionaux, sous-régionaux et nationaux (PAR, PASR, PAN) de lutte contre la désertification, les programmes TerrAfrica de restauration et de gestion des terres dégradées (GTD), ainsi que les Programmes économiques régionaux (PER) d'institutions communautaires – sont autant de mécanismes mis en œuvre. Malgré les stratégies et politiques et les investissements globaux, les contraintes subsistent et hypothèquent de plus en plus les capacités de développement durable des zones rurales, comme en témoigne la fréquence des crises alimentaires au Sahel.

Diverses approches conceptuelles de lutte, d'adaptation et de résilience aux effets de la désertification et du risque climatique ont été initiées à travers les PAR, PASR et PAN. Du concept « *ceinture verte* » à forte activité de reboisement, les approches ont évolué des actions classiques de reboisement vers celles de reverdissement associées à des techniques de gestion durable des terres. Malgré ces efforts, les effets et impacts de la désertification et du changement climatique demeurent au cœur des préoccupations prioritaires de l'Afrique. L'approche stratégique à ces problématiques d'envergure mondiale nécessite plutôt d'autres alternatives et stratégies. Par ailleurs, du bilan mitigé de plusieurs décennies de Plans d'action nationaux, l'une des leçons pertinentes est que, pris individuellement, aucun pays saharo-sahélien n'a ni les moyens techniques, ni les ressources humaines et financières nécessaires pour faire face aux contraintes techniques et financières. Cette situation appelle un changement de paradigme. Cependant, la complexité, les réalités endogènes et la structure anthropo-socio-économique des terroirs sahéliens imposent une approche holistique intégrant toutes les dimensions et composantes du développement rural dans un cadre de gestion concertée. C'est dans ce contexte qu'a émergé, par la volonté des Chefs d'État et de Gouvernement des États saharo-sahéliens, l'Initiative africaine de la Grande Muraille verte (IAGMV). Au-delà du caractère emblématique, l'appellation « Grande Muraille Verte » ou « Great Green Wall » Dakar-Djibouti véhicule la notion de protection contre la désertification d'une part et celle de développement d'autre part, centrées autour de l'arbre porteur de vie et de développement. En considérant l'arbre comme un élément majeur régissant l'évolution spatio-temporelle des milieux sahéliens et en conséquence toutes les activités socio-économiques qui en découlent, l'approche « Grande Muraille Verte » repose principalement sur la protection/conservation/valorisation par l'identification et la promotion de pratiques de gestion durable des terres et par le renforcement des services socio-économiques de base et l'autonomisation durable des populations rurales

## 2. Vision et cadre logique de cohérence

Le contexte global, les défis et enjeux multiples liés aux changements globaux de l'environnement et de la variabilité climatique nécessitent de traduire la vision de l'Initiative GMV dans un cadre stratégique et de logique de cohérence, un dispositif juridique et organisationnel et un mécanisme de suivi-évaluation bien maîtrisés.

La vision globale de la Grande Muraille Verte est de s'attaquer résolument aux principaux fléaux environnementaux et climatiques dans le cadre d'une coopération régionale et d'une synergie d'actions, pour créer à l'horizon 2025, avec la participation active de tous les acteurs, le rétablissement de la viabilité des écosystèmes et des systèmes productifs dans les zones rurales par des actions de restauration des terres, de réhabilitation et de renforcement des systèmes productifs. Dans le Sahel, le développement durable signifie d'abord « conservation des ressources naturelles et des écosystèmes et consolidation et diversification des systèmes de production ». La vision la plus cohérente à cette problématique très complexe s'oriente nécessairement vers la lutte contre la désertification et la dégradation des terres, vers la mise en valeur et la transformation des zones arides par la conservation, la gestion et l'optimisation des potentialités et des bases productives. L'approche viable et opérationnelle réside dans une gestion concertée intégrant les différents pays touchés à travers des mécanismes de coopération régionale et sous-régionale. Cependant, la réussite d'une telle stratégie régionale dépend fortement de la volonté et de l'engagement politiques, et de l'émergence d'un leadership africain dans la prise en charge et la gestion de ses propres défis. L'Initiative africaine de la Grande Muraille Verte<sup>1</sup> (IAGMV) est l'expression forte de cette acceptation de changement de paradigme et de stratégies d'approche, mais aussi de l'engagement politique des Chefs d'État et de Gouvernement des États sahélo-sahariens de mettre en œuvre, et ensemble, une Nouvelle Stratégie Africaine (NSA) de lutte contre ces aléas. La particularité de la vision « Grande Muraille Verte » est, tout en créant et consolidant une ligne de défense par des activités de reboisement, de restauration et de gestion écosystémique, de contribuer efficacement aux efforts de lutte contre la dégradation des terres, la pauvreté et l'insécurité alimentaire et de créer, par une approche holistique, la transformation des zones rurales traversées en pôles ruraux d'émergence économique. Elle se fonde notamment sur les cibles majeures des indicateurs pertinents suivants :

– à l'horizon 2020-2025, freiner l'avancée de la désertification, restaurer et valoriser les potentialités des zones arides et semi-arides, et installer les conditions d'un développement durable,

---

1- Initiative africaine dénommée « Grande Muraille Verte » proposée lors du 7<sup>e</sup> Sommet des Chefs d'État et de Gouvernement de la Communauté des États saharo-sahéliens tenu les 1<sup>er</sup> et 2 juin 2005 à Ouagadougou (Burkina Faso). Elle est endossée par l'Union africaine, par déclaration 137 (VIII), lors de la 8<sup>e</sup> session ordinaire de la Conférence des Chefs d'État et de Gouvernement tenue les 29 et 30 janvier 2007 à Addis-Abeba (Éthiopie). La dénomination « Grande Muraille Verte » est emblématique et caractérise un label de modèle de développement intégré. Elle véhicule deux messages importants : assurer une protection contre la désertification et réaliser le développement durable des zones arides fortement affectées en étant centrée sur la vision « l'arbre porteur de vie et de développement ».

– et à terme, réaliser la transformation des vastes étendues arides du Sahel en véritables pôles ruraux de production et de développement durable (PRPDD), puissants vecteurs d’incitation pour le retour aux terroirs des forces vives.

Le cadre logique de cohérence est fondé sur les orientations majeures des politiques et stratégies communautaires régionales et sous-régionales et celles des États membres, notamment en matière de développement social et économique, de lutte contre la désertification, le changement climatique, la pauvreté et l’insécurité alimentaire, de promotion de l’écodéveloppement et de gestion durable des ressources naturelles. Il intègre par ailleurs les orientations prioritaires des trois (03) Conventions des Nations unies sur la désertification, le changement climatique et la biodiversité. À l’échelle locale, il adopte une approche holistique, écosystémique et multisectorielle adaptée aux réalités locales du terroir et s’appuie également sur l’appropriation par les populations locales ainsi que sur la valorisation des savoirs et techniques locaux dans le processus de mise en œuvre. Il s’appuie par ailleurs sur un certain nombre d’outils scientifiques et techniques, d’instruments juridiques et financiers et de mécanismes de planification stratégique et de suivi-évaluation, et prend ainsi en compte les éléments suivants :

- un dispositif juridique et institutionnel opérationnel de coopération régionale, unissant tous les pays concernés dans le même combat et dans une nouvelle approche intégrée de développement et de gestion des ressources naturelles ;
- une coordination régionale dans la planification, l’exécution, le suivi-évaluation et la mobilisation des ressources ;
- une capitalisation des autres programmes pertinents, l’harmonisation des interventions et la rationalisation des ressources ;
- une base cohérente de planification stratégique assise sur la vision, les orientations stratégiques, les objectifs, les résultats attendus et les indicateurs avec des cibles/résultats visés. Elle se décline en Plan d’action régional tenant compte du profil pays ;
- une Plateforme de partenariat et de coopération scientifique, technique et financière ;
- un système de recherche opérationnelle multidisciplinaire d’accompagnement et d’échanges ;
- un Système d’information et de gestion fiable et un observatoire comme outil performant de suivi-évaluation sur objectifs, résultats attendus et indicateurs et cibles ;
- une feuille de route et une matrice de mise en œuvre.

Le cadre opérationnel prend en compte un certain nombre d’orientations :

l’IGMV est inscrite dans un cadre de cohérence nationale, sous-régionale et régionale. Au niveau pays, les actions GMV s’intègrent et renforcent les politiques nationales de développement, de promotion de l’écodéveloppement et de gestion durable des ressources naturelles ;

- la forte implication des communautés de base et leur autonomisation à court terme dans l’élaboration, la planification et la mise en œuvre des programmes de développement de leurs terroirs, par le renforcement de capacité des acteurs à la base ;

- le renforcement des axes de coopération inter-terroirs et Sud-Sud, ainsi que le transfert de technologies adaptées dans la transition vers l'économie verte ;
- l'inventaire et la valorisation des savoirs traditionnels et le renforcement de la coopération entre acteurs locaux, en favorisant les échanges d'expériences et de savoir-faire dans les programmes notamment de restauration des terres, de gestion durable, de protection des forêts, d'agroforesterie, de pastoralisme, de gouvernance locale, de valorisation des produits forestiers ;
- la mise en place d'une recherche scientifique thématique d'accompagnement sur les aspects intéressant la mise en œuvre, l'exploitation, le suivi et l'évaluation des réalisations et des impacts de la GMV par une mise en réseau régionale de centres et d'institutions de recherche et de formation. Le renforcement de la Plateforme de partenariat et de coopération scientifique, technique et financière (PPCSTF) servira à l'harmonisation et à la concertation entre partenaires ;
- la création et le fonctionnement efficient de systèmes de collecte et de dissémination d'informations accessibles.

### 3. Cadre juridique et institutionnel

Le dispositif juridique et institutionnel opérationnel sur lequel s'appuie la mise en œuvre de l'Initiative est ainsi structuré :

- La tutelle politique de l'Initiative GMV est assurée par L'Union africaine et la CENSAD. L'Initiative a été approuvée par la Conférence des Chefs d'État et de Gouvernement de l'Union africaine lors de sa 8<sup>e</sup> session ordinaire des 29 et 30 janvier 2007 à Addis-Abeba (Éthiopie) par la déclaration 137 (VIII). Le 17<sup>e</sup> Sommet tenu à Malabo (Guinée équatoriale) a salué la création de l'Agence Panafricaine de la Grande Muraille Verte et son rôle de coordination et d'agence d'exécution, et réaffirmé par ailleurs l'ancrage politique de l'Initiative GMV dans l'Union africaine à travers la Décision Assembly/AU/Dec.-14 (XVII).
- À l'échelle régionale, la coordination est assurée par l'Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte (APGMV)<sup>2</sup>, en relation avec la Commission de l'Union africaine et les Communautés économiques régionales (CER) de la CEDEAO, de la CEEAC et de l'IGAD. Elle est dotée d'un statut juridique international inter-étatique, sous la tutelle politique de l'Union africaine. Elle a pour objet la mise en œuvre de la Grande Muraille Verte. Elle a pour missions en relation avec les États

---

2– L'Agence Panafricaine de la Grande Muraille Verte (APGMV) est créée par la Convention signée le 17 juin 2010 à Ndjamena (République du Tchad) par les Chefs d'État et de Gouvernement des États membres de la Grande Muraille Verte. Les organes statutaires sont la Conférence des Chefs d'État et de Gouvernement, le Conseil des Ministres, le Secrétariat exécutif et le Comité Technique des Experts.

membres d'élaborer le cadre stratégique, le plan d'action global et d'assurer la coordination de leur mise en œuvre ainsi que la mobilisation des ressources nécessaires. Elle est relayée dans chaque État membre par une structure nationale de la GMV en charge de la réalisation des activités opérationnelles de mise en œuvre de la composante nationale de la GMV. L'APGMV s'appuie dans ses missions sur les structures spécialisées locales, nationales, sous-régionales et internationales publiques ou privées, compte tenu de leurs avantages comparatifs et du contexte du milieu d'implantation. Elle assure la cohérence transversale des actions par une coordination dynamique à travers des orientations communes concertées à toutes les étapes du processus de conception, de planification, de mise en œuvre, de suivi et d'évaluation des actions et de leurs impacts.

L'approche en synergie et par faisceau dans les différents domaines d'intérêt de la GMV associe divers partenaires institutionnels, techniques et financiers à philosophie et expertises différentes. Par ailleurs, la complexité des préalables, procédures et mécanismes dans la mise en œuvre des programmes rend indispensable la disponibilité en temps opportun des données techniques d'aide à la décision, de suivi-évaluation et des statistiques fiables, ainsi que la concertation entre acteurs et partenaires. Dans ce cadre, la mission de coordination, de mise en cohérence, d'harmonisation et de rationalisation des initiatives et programmes de l'Agence est facilitée par la mise en place d'un cadre contractuel dynamique de coopération technique, scientifique et financière, de concertation et d'échanges d'informations. Les statuts de L'APGMV ont prévu la mise en place d'une Plateforme de partenariat et de coopération scientifique, technique et financière (PPCSTF) comme organe de concertation et d'aide à la décision. La PPCSTF est ouverte aux institutions partenaires qui soutiennent et accompagnent techniquement et financièrement la réalisation de la Grande Muraille Verte. Elle joue un rôle de facilitation auprès des institutions partenaires pour assurer la durabilité des investissements et la pérennisation des impacts socio-économiques positifs des programmes et projets mis en œuvre.

Au niveau de la coordination centrale, l'Agence dispose d'un texte fondateur à travers la Convention du 17 juin 2010 de Ndjamena et d'instruments juridiques (statuts et règlement intérieur) et de gestion administrative, comptable et financière (manuel de procédures) approuvés par règlement N° 2011/002/CM/APGMV/NDj du 03 mars 2011 par le Conseil des ministres des États membres. Ce dispositif organisationnel et réglementaire balise correctement les procédures et la planification à travers les organes statutaires : la Conférence des Chefs d'État et de Gouvernement, le Conseil des ministres et le Secrétariat exécutif doté d'un Comité technique des experts. Dans son fonctionnement, la PPCTSF appuie et facilite les missions de gestion et de suivi-évaluation. Elle comprend un Comité technique, un Comité de suivi/évaluation, un Comité d'investissement et un Comité de plaidoyer.

- À l'échelle nationale. Afin d'assurer une cohérence entre les actions de la GMV et celles des politiques nationales, une structure nationale dédiée à la GMV est créée au niveau de chaque État membre. Elle assure la promotion de l'Initiative et la réalisation sur le terrain des activités opérationnelles dont les orientations globales sont contenues dans le Plan d'action régional. Elle travaille en étroite collaboration

avec les services techniques des ministères sectoriels chargés notamment du développement rural, de l'agriculture, de l'élevage, des collectivités locales, de la décentralisation, de l'action sociale, de la santé, des questions foncières, de la jeunesse, des petites et moyennes entreprises, du microcrédit, de la recherche scientifique et de la culture.

- À l'échelle locale. La logique de la démarche participative, garante de l'engagement, de l'appropriation et de la maîtrise par les populations des processus du cycle du programme centre la stratégie de mise en œuvre sur la communauté de base, à la fois cible et bénéficiaire. L'organe de gestion à la base est l'*Unité communautaire intégrée de développement durable (UCIDD)*<sup>3</sup>, qui correspond au « Bloc intégré de construction » de développement et de gouvernance communautaire à l'échelle locale. Elle est appuyée par un plateau technique d'Appui-Conseil, « Task Force Rural », formé d'acteurs publics, privés et d'ONG, pourvoyeurs de services spécialisés se rapportant principalement au climat, à l'agriculture, l'élevage, la foresterie, l'hydraulique, au développement communautaire, à la communication par la fourniture de données, d'informations et de conseils appropriés permettant de bâtir un Système de réponse et d'alerte précoce (SRAP) et de passer les messages aux cibles dans les formats et langues locales appropriés.

## 4. Objectifs et impacts attendus

L'objectif global de la Grande Muraille Verte est la contribution à la lutte contre l'avancée du désert et la mise en valeur des zones saharo-sahéliennes, afin de réaliser à terme leur transformation par l'installation de conditions propices à l'émergence de Pôles ruraux de production et de développement durable (PRPDD), capables d'éradiquer la pauvreté et l'insécurité alimentaire. Il s'agira à cet effet d'entreprendre des activités opérationnelles de reboisement, d'agroforesterie, de restauration des terres et des systèmes de production et de valorisation des potentialités naturelles, tout en favorisant des mesures d'accompagnement en termes d'activités génératrices de revenus et de renforcement des infrastructures de base pour l'accès aux besoins sociaux et économiques de base.

La traduction de la vision en résultats et impacts positifs est planifiée à travers huit (08) Objectifs stratégiques majeurs (OSM). Le tableau I ci-après présente ces OSM et les Activités phares conséquentes de réalisation.

---

3– UCIDD: Unité communautaire intégrée de développement durable. Populations ou communautés de populations d'un même ou de plusieurs terroirs. Le terroir est considéré comme une entité géographique et sociale caractérisée par l'homogénéité spatiale, culturelle et d'intérêts communs et solidaires de la gestion durable de l'espace géographique.



Tableau 1  
Objectifs stratégiques majeurs (OSM) et Activités phares de la Grande Muraille Verte

<b>Objectif spécifique 01</b>	
Promouvoir des activités de restauration/conservation/protection/valorisation des terres, de la biodiversité, des ressources en eaux et des forêts à travers une gestion efficace et durable des ressources naturelles	
Résultats attendus	Activités phares (AP)
<u>Résultat 01.1</u> La caractérisation du milieu et l'inventaire des ressources naturelles et du capital humain sont améliorés	<p>API.1/1 : établir la situation de référence du terroir (biophysique, socio-économique, gouvernance locale, occupation du sol, développement humain, niveau d'accès aux services de base, transhumance, etc.)</p> <p>API.1/2 : identifier les sites prioritaires et les techniques et programmes probants.</p> <p>API.1/3 : créer des zones protégées gestion décentralisée et sensibiliser à la gestion participative des aires pour favoriser le développement de la faune sauvage et la biodiversité</p>
<u>Résultats 01.2</u> Les meilleures pratiques et techniques de restauration, conservation, protection et valorisation sont améliorées et introduites et accessibles aux populations	<p>API.2/1 : entreprendre l'inventaire des techniques locales pertinentes (RNA, Mise en défens, approche holistique, agroforesterie) et leur amélioration par des échanges entre acteurs d'horizons divers et techniciens</p> <p>API.2/2 : assurer la sensibilisation des populations aux objectifs et aux bénéfices attendus et prévoir des incitations (accès à la propriété) afin de pérenniser les acquis</p> <p>API.2/3 : renforcer les capacités des communautés de base, des techniciens d'encadrement (ONG et étatiques), organiser des visites d'échanges entre acteurs ruraux</p> <p>API.2/4 : créer et diffuser des supports didactiques de communication et des publications sur les pratiques pertinentes et les réussites d'acteurs innovateurs</p>
<b>Objectif spécifique 02</b>	
Renforcer et diversifier les systèmes de production et de transformation agricoles et pastoraux	
Résultats attendus	Activités phares (AP)
<u>Résultat 02.1</u> Les potentialités forestières, agricoles et pastorales sont inventoriées et renforcées	<p>AP2.01/1 : inventorier les systèmes de production et de transformation agricoles et pastoraux affectés et quantifier leur état de dégradation.</p> <p>AP2.01/2 : faire l'inventaire des potentialités rurales et la planification stratégique de leur valorisation</p> <p>AP1.01/3 : identifier les connaissances et savoir-faire des populations maîtrisant particulièrement bien l'élevage et l'agriculture dans leurs milieux</p> <p>AP2.01/4 : circonscrire des parcours et des zones de pâturage et édicter des règles d'utilisation, notamment par rapport à la capacité de charge</p>

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

### Résultat 02.2

Les infrastructures de soutien à une production agro-sylvo-pastorale diversifiée et durable sont réalisées

AP2.02/1 : identifier et caractériser les systèmes de production, les infrastructures de soutien et les potentialités du milieu (eau, sources d'énergie, pâturages, terres arables)

AP2.02/2 : établir un schéma d'aménagement d'infrastructures de soutien à la production et à la transformation agricole et pastorale (ouvrages hydrauliques, retenues, forages, puits cimentés, bassins de rétention, aires de pâturages et couloirs de transhumance, magasins de stockage, centres d'insémination)

AP2.02/3 : appuyer et encadrer la réalisation et la diversification des aménagements de base et des systèmes d'accès à l'eau pour les populations et le bétail (puits, bassins de rétention, forages, mares, etc.),

AP2.02/4 : identifier les aires agricoles et pastorales et les possibilités de diversification et entreprendre leur exploitation à échelle familiale et en coopérative

AP2.02/5 : développer des centres de proximité de multiplication, d'insémination artificielle de vaccination du bétail, d'identification et d'acquisition de géniteurs

AP2.02/6 : Créer des dépôts témoins de produits sanitaires

AP2.02.7 : encourager la création dans chaque terroir de banques fourragères

### Résultat 02.3

La diversification, l'intensification et la modernisation des systèmes de production sont effectives

AP2.03/1 : améliorer l'utilisation des outils de biotechnologie verte pour améliorer la résistance à la sécheresse et la productivité des espèces végétales,

AP2.03/2 : entreprendre la réduction de la dépendance par rapport aux pesticides (agriculture biologique) et renforcer la lutte contre les ravageurs et déprédateurs des cultures

AP2.03/3 : encourager la domestication des espèces ligneuse fruitières forestières alimentaires

AP2.03/4 : faciliter la mise en place de systèmes de production durables par l'intégration des arbres à usages multiples

### Résultat 02.4

Le cadre de concertation et d'échanges et le modèle de gestion participative des espaces agro-sylvo-pastoraux sont mis en place

AP2.4/1 : proposer à la gouvernance locale un modèle de dialogue et d'échanges inclusif sur les questions rurales et la nécessité d'un développement de synergies dans les interventions. Créer les possibilités d'émergence des leaders locaux

AP2.4/2 : entreprendre en relation avec les populations la sélection des sites et appuyer la mobilisation des ressources financières et humaines nécessaires et la sensibilisation des bénéficiaires

AP2.4/3 : accompagner l'identification, l'installation, la capacitation et le fonctionnement des structures de gestion et de gouvernance locale

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

### Objectif spécifique 03

Promouvoir des activités agro-sylvo-pastorales et socio-économiques aptes à assurer la création durable de richesses et la satisfaction des besoins domestiques des populations

Résultats attendus	Activités phares (AP)
<p><u>Résultat 03/01</u> Le contexte socio-économique est bien établi</p>	<p>AP.03.1/1 : entreprendre une collecte et synthèse des données sur le contexte socio-économique des communautés de base dans l'emprise de la GMV</p>
<p><u>Résultat 03/02</u> Les pratiques, expériences, techniques et données pertinentes en systèmes d'exploitations agricole et pastorale et de GDT dans les zones arides sont identifiées et labellisées</p>	<p>AP.03.2/1 : analyser et capitaliser des expériences et techniques réussies en matière d'activités agro-sylvo-pastorales et socio-économiques pratiquées dans les zones ciblées ou dans des contextes similaires</p> <p>AP.03.2/2 : promouvoir l'adoption de pratiques et de technologies novatrices améliorées par les résultats de la recherche</p> <p>AP.03.2/3 : aménager et équiper des pépinières multifonctionnelles et favoriser l'accès aux intrants (semences, matériel, produits phytosanitaires)</p>
<p><u>Résultat 03/03</u> Création et diversification des filières de production et d'exploitation</p>	<p>AP.03.3/1 : introduire des espèces à croissance rapide <i>Acacia auriculiformis</i>, espèces de bois d'œuvre et arbres fruitiers à valeur ajoutée, plantations en lisières, concessions d'espèces, notamment les plantes médicinales et autres espèces forestières</p> <p>AP.03.3/2 : favoriser la commercialisation des produits forestiers de cueillette et pastoraux</p> <p>AP.03.3/3 : former et encadrer des pépiniéristes privés aux meilleures techniques de production et de manutention de plants</p> <p>AP.03.3/4 : identifier et développer les diverses filières de produits forestiers et autres activités génératrices de richesses</p>
<p><u>Résultat 03/04</u> L'accès à la propriété foncière est facilité</p>	<p>AP.03.4/1 : identifier les problèmes de gestion foncière et entreprendre la facilitation de l'accès à la propriété</p>
<p><u>Résultat 03/05</u> Un Fonds d'appui au développement local et à la réinsertion (FADLR) dans les terroirs est mis en place et fonctionne correctement</p>	<p>AP.03.5/1 : développer l'artisanat (menuiserie, objets d'art, etc.) et l'industrie forestiers</p> <p>AP.03.5/2 : assurer la formation des groupements d'intérêt économique à l'économie rurale et aux techniques appropriées de gestion et de bonne gouvernance locale</p> <p>AP.03.5/3 : organiser et développer le crédit commercial avec la création d'un Fonds d'impulsion à l'artisanat et l'entrepreneuriat forestiers (FIAEF)</p>

**Objectif spécifique 04**

Réhabiliter et renforcer les services socio-économiques de base en termes de santé, d'éducation, d'infrastructures de communication, d'énergies domestiques et d'eau

Résultats attendus	Activités phares (AP)
<p><u>Résultat 04/01</u> Le schéma d'implantation des infrastructures sociales de base est bien élaboré et les implantations sont réalisées</p>	<p>AP04.01/1 : identifier et analyser en relation avec les communautés de base les besoins en infrastructures socio-économiques de base (écoles, forages, bassins de rétention, cases de santé, des unités d'énergie solaire, pistes de production et magasins témoins, etc.),</p> <p>AP04.01/2 : planifier et réaliser les infrastructures ciblées en tenant compte des réalités des terroirs et en particulier dans les zones de transhumance</p> <p>AP04.01/3 : assurer la sensibilisation nécessaire à l'appropriation et à la gestion communautaire des infrastructures.</p>
<p><u>Résultat 04/02</u> Les communautés sont organisées et formées à la gestion et à la maintenance technique de base</p>	<p>AP04.02/01 : identifier et former des leaders animateurs locaux</p> <p>AP04.02/02 : appuyer la mise en place et le fonctionnement des comités de gestion et l'élaboration de chartes de gestion communautaire</p>

**Objectif spécifique 05**

Créer un système d'information et de gestion et un observatoire sur les ressources naturelles des zones arides du Sahel

Résultats attendus	Activités phares (AP)
<p><u>Résultat 05/01</u> Une Plateforme de coopération et de partenariat scientifique et technique entre institutions travaillant sur la désertification, les changements climatiques et le développement local est établie</p>	<p>AP.05.1/01 : mettre en place au niveau de la coordination régionale un système de gestion, de diffusion et de partage des connaissances (expériences, approches, techniques, etc.) et données fiables sur les sciences du climat et de la dégradation des terres accessibles aux pays</p> <p>AP.05.01/02 : un système d'alerte précoce est mis en place en relation avec d'autres institutions spécialisées régionales, sous-régionales et nationales</p> <p>AP.05.01/03 : un observatoire Homme/Milieu est créé avec l'appui des institutions régionales et nationales</p> <p>AP.05.01/04 : mettre en place et animer à travers la PPCSTF un réseau d'échanges et de coopération scientifique et technique entre États et institutions existantes pour l'aide à la décision</p>

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

<p><b>Résultat 05/02</b> Des supports d'information et de communication scientifiques sont créés</p>	<p>AP5.05.2/01 : créer un bulletin d'information bimestriel (les Échos du Sahel) et une revue scientifique « Terroir, Désertification et Économie verte »</p> <p>AP5.05.2/0 : assurer une bonne promotion des supports d'information et de communication</p> <p>AP5.05.2/03 : encourager la création ou le renforcement de l'accès à l'information des terroirs (radios et télévisions rurales, causeries, sensibilisation) et voyages d'étude</p>
<p><b>Résultat 05/03</b> Un système d'Information scientifique régional et un observatoire modulaire sont mis en place et accessibles de l'échelle locale à l'échelle internationale</p>	<p>AP5.05.3/01 : élaborer et mettre en place un Système géo-information et d'observatoire (type Atlas numérique de gestion des terres, de l'environnement et de gouvernance locale) avec composantes pays</p> <p>AP5.05.3/02 : élaborer et mettre en place un site web convivial avec forum de discussions (<a href="http://grandemurailleverte.org">grandemurailleverte.org</a>) avec pages pays</p>

### Objectif spécifique 06

Mettre en place un plateau technique d'appui à la recherche et à la formation par un réseau de recherche-développement et favoriser la recherche opérationnelle et la mobilité scientifique dans l'espace GMV

#### Résultats attendus

#### Activités phares (AP)

##### Résultat 06/01

Des programmes de formation par la recherche et de perfectionnement sont élaborés et des allocations sont disponibles

AP06.1/01 : identifier et définir des programmes de formation et de soutien à la recherche et mettre en place un système de financement et de sélection de bourses par l'Agence et les Partenaires

##### Résultat 06/02

Des thématiques de recherche sont identifiées et sélectionnées par un Comité d'experts

AP06.2/01 : identifier des thématiques prioritaires de recherche pluridisciplinaire et des projets de recherche opérationnelle sur certains sujets forestiers et pastoraux

##### Résultat 06/03

Une Plateforme et un Plateau scientifiques et techniques sont mis en place et fonctionnent

AP06.3/01 : mettre en place des réseaux nationaux et régionaux pluridisciplinaires d'équipes de recherche et de laboratoires travaillant et produisant des résultats de haut niveau pertinents pour la mise en œuvre, le suivi et l'exploitation des Composantes de la GMV

AP06.3/02 : encourager une recherche stratégique et opérationnelle en sciences du climat sur l'identification et à la gestion du risque climatique dans les projets de développement des zones arides

**Objectif spécifique 07**

Améliorer les conditions de vie des Communautés locales et inverser les flux migratoires vers les zones restaurées

Résultats attendus	Activités phares (AP)
<p><u>Résultat 07/01</u> Des Pôles ruraux d'émergence de développement durable sont créés dans les zones rurales</p>	<p>AP07/1/01 : mettre en place des politiques intégrées de développement local et de gouvernance dans les unités de développement de base</p> <p>AP07/1/02 : faciliter le développement d'activités durables d'exploitation et de transformation des produits de la Grande Muraille Verte et créer le plaidoyer et le marketing nécessaires ainsi que les conditions d'incitation (facilitation de l'accès à la propriété, aux intrants, à la logistique et à l'encadrement pour le retour aux terroirs)</p> <p>AP07/1/03 : faciliter la mise en place de politiques de gestion durable des terres et la prise de mesure par les États pour soutenir les activités agro-sylvo-pastorales et intégrer le risque climatique pour assurer une production agricole et pastorale suffisante pour garantir la sécurité alimentaire</p>

**Objectif spécifique 08**

Améliorer la séquestration de CO<sub>2</sub> dans les couvertures végétales, les sols par la mise en œuvre de stratégies et techniques durables et efficaces d'occupation des terres

Résultats attendus	Activités phares (AP)
<p><u>Résultat 08/1</u> Les puits de carbone sont bien identifiés et caractérisés</p>	<p>AP08.1/01 : cartographier les sources de séquestration de CO<sub>2</sub> et instaurer les meilleures pratiques culturelles, pastorales et d'occupation des terres</p>
<p><u>Résultats 08/2</u> Un projet de finance carbone est bien élaboré et soumis et financé</p>	<p>AP08.2/02 : entreprendre l'élaboration du projet de finance carbone et identifier les parties prenantes</p>

Les impacts multiples et divers se situent à tous les niveaux et ont une portée aussi bien locale, nationale qu'internationale. Ils bénéficient à plusieurs catégories d'acteurs locaux et nationaux et à la communauté internationale. Ces impacts portent notamment sur :

- la réduction de l'érosion et la restauration des sols dégradés et des ressources forestières ;
- l'arrêt de la déforestation, l'accroissement du taux de reforestation et la protection des forêts ;

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- la restauration, la récupération et la protection des équilibres éco-climatiques, de la diversité biologique et des écosystèmes dégradés, l'aménagement d'espaces agro-sylvo-pastoraux et l'instauration de meilleures pratiques dans les systèmes de gestion des terres (agroforesterie, pastoralisme, agriculture, infrastructures rurales) ;
- la relance, le développement, la diversification et l'amélioration notable et durable de la productivité des systèmes agro-sylvo-pastoraux par le renforcement des infrastructures de soutien à la production et à la transformation ;
- la rationalisation de la transhumance pour une coexistence pacifique dans les aires agro-sylvo-pastorales ;
- l'émergence de pôles ruraux de production et de développement durable (PRPDD) ;
- l'amélioration notable de l'accès aux services socio-économiques de base et à l'alimentation ;
- le renforcement des capacités de gestion technique et de gouvernance locale des ressources naturelles dans les terroirs ;
- l'éradication de la pauvreté, de l'insécurité alimentaire et de la malnutrition ;
- l'accélération des conditions d'atteinte des OMD par l'extension de la couverture sanitaire, du taux de scolarisation, de l'accès à l'eau potable, à l'alimentation et à un cadre de vie adéquat ;
- le développement et la diversification des filières agricoles, pastorales, sylvicoles porteuses et la valorisation des produits forestiers à travers la capitalisation des bonnes pratiques et l'exploitation des résultats de la recherche et des savoirs locaux et traditionnels ;
- le développement et le renforcement de la coopération SUD-SUD, SUD-NORD, de la mobilité scientifique par la Recherche&Développement et la formation dans les écoles, instituts, universités et centres de recherche avec la création de réseaux scientifiques thématiques et l'amélioration des plateaux techniques ;
- l'amélioration notable des connaissances scientifiques sur les processus et interactions de la désertification, de la sécheresse, des changements climatiques et sur les technologies d'adaptation et de résilience, ainsi que sur la caractérisation des espèces végétales adaptées au stress hydrique et à l'aridité des sols ;
- la maîtrise des ressources en eau, à travers la mise en place de bassins de rétention, de lacs artificiels et d'ouvrages hydrauliques ;
- la création d'emplois, le développement de l'entrepreneuriat et du micro-crédit par l'organisation et l'amélioration des circuits commerciaux ainsi que la diversification des filières porteuses ;
- la couverture durable des besoins en produits forestiers, en pharmacopée et en énergie domestique ;
- le renforcement de la sécurité et de la paix dans l'espace saharo-sahélien et l'intégration socio-économique des peuples du Sahel ;
- la forte contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) par des pratiques et techniques durables d'occupation des terres et de génération de biomasse et forte capacité de séquestration du CO<sub>2</sub>.



Le tableau synoptique ci-après donne un aperçu des catégories de bénéficiaires et d'impacts.

Tableau 11  
Synoptique des bénéficiaires et des impacts attendus de la GMV

Bénéficiaires	Principaux types de bénéficiaires/Impacts
<b>Communauté internationale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diminution des émissions de GES et leurs effets sur les changements climatiques</li> <li>• exemples pertinents de mise en œuvre des trois conventions des Nations unies (UNCCD, UNCCD, UNCCC) et leurs interactions</li> <li>• contribution africaine notable à l'alliance mondiale contre les changements climatiques, la désertification, la dégradation des terres et la perte de biodiversité</li> <li>• maîtrise et inversion des migrations (économiques, écologiques) dans les terroirs</li> <li>• renforcement de la sécurité et de la paix dans l'espace saharo-sahélien et intégration socio-économique des peuples du Sahel</li> <li>• contribution à la caractérisation des espèces végétales et des systèmes de production soumis au stress hydrique et à l'aridité</li> </ul>
<b>Les États</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• éléments pertinents pour élaboration et suivi de politiques nationales en matière de gestion durable des ressources naturelles et d'approche holistique de la question des zones arides</li> <li>• opportunité de relancer et de consolider les programmes de gestion durable des ressources naturelles, et d'inverser les tendances de dégradation des écosystèmes</li> <li>• disponibilité d'outils de conception et de planification stratégique, de coordination et de suivi-évaluation</li> <li>• contribution à l'éradication de la pauvreté et à l'atteinte de la sécurité et de la souveraineté alimentaires</li> <li>• approches, procédés, pratiques capitalisés et base d'échanges et de concertation avec les pairs en Afrique et dans la sous-région et contribution notable à l'intégration et l'approche communautaire</li> <li>• réhabilitation et incorporation des vastes domaines arides du patrimoine national dans les politiques et stratégies de développement durable</li> <li>• émergence d'un leadership du continent dans la gestion des problématiques des ressources naturelles et de l'environnement</li> </ul>
<b>Producteurs primaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• amélioration de la qualité des bases productives et de la gestion des sols et des nutriments, biomasse et rendements plus élevés, diversité agrobiologique, couverture végétale et productivité animale accrues</li> <li>• amélioration de la disponibilité de l'eau et des techniques de gestion durable des ressources en eaux limitées aux eaux de pluie, paysages restructurés et moins vulnérables aux intempéries</li> <li>• disponibilités de données fiables de système d'alerte précoce</li> <li>• élargissement de l'offre en quantité et qualité de terres cultivables</li> <li>• renforcement et amélioration des systèmes de production et de transformation agricoles et pastoraux</li> </ul>
<b>Entrepreneurs privés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opportunités de création/aménagement de parcs animaliers, fermes modernes, sites éco-touristiques, aires protégées...</li> <li>• fournisseur de semences, de plants...</li> <li>• offres de services (plantation, entretien...)</li> </ul>



Bénéficiaires	Principaux types de bénéficiaires/Impacts
<b>Populations riveraines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• amélioration de la sécurité alimentaire (récupération des terres à des fins agricoles, pastorales, forestières, périmètres maraîchers, fruitiers... surtout à l'endroit des femmes et des jeunes), y compris l'accès à des produits et nutriments de qualité</li> <li>• larges opportunités d'activités sources de richesse et d'emplois (contre le sous-emploi, l'exode, les conflits...) à partir des pôles ruraux de développement durable</li> <li>• facilités de ramassage bois de chauffe, fourrage, autres produits forestiers non ligneux</li> <li>• amélioration du cadre de vie (bonification des paysages)</li> <li>• apprentissage, familiarisation avec technologies et procédés avantageux</li> <li>• accès aux technologies nouvelles de transition vers l'économie verte</li> </ul>
<b>Structures Enseignement/ Recherche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inter et multidisciplinarité dans les thématiques de recherche</li> <li>• disponibilité de données scientifiques nouvelles et de supports à la recherche et à la formation notamment la couverture satellitale, l'observatoire, dans divers domaines du développement rural (foresterie, agriculture, pastoralisme, économie, et sociologie et gouvernance)</li> <li>• aménagement de parcelles de recherche et de champs écoles</li> <li>• formations ciblées et formation par la recherche, renforcement et perfectionnement de l'expertise nationale, préparation de mémoires de masters et thèses, vocations, débouchés</li> <li>• renforcement du plateau technique pour la R&amp;D et la mobilité scientifique</li> <li>• caractérisation, valorisation et diversification de filières d'exploitation des produits agricoles, forestiers et pastoraux.</li> </ul>

## 5. Opérationnalisation de la Grande Muraille Verte

### 5.1. Stratégie opérationnelle

Une telle initiative nécessite une stratégie multisectorielle, une approche holistique, une synergie des interventions et une démarche participative. Elle est fondée sur l'approche sur demandes et besoins prioritaires des Communautés à la base et s'appuie sur une planification stratégique par objectifs, résultats attendus, et indicateurs et cibles de performance.

Elle est bâtie sur l'identification d'Axes stratégiques majeurs (ASM) fédérateurs issus des orientations de la vision et de l'analyse des approches, expériences et résultats pertinents existants et des programmes en cours ou à réaliser. Elle s'appuie également sur l'implication active et effective des populations à toutes les étapes de la mise en œuvre. La sélection des sites, des espèces végétales et des programmes d'appui au développement communautaire et à la gouvernance locale se fera en relation avec l'UCIDD de la Communauté de base. Une telle stratégie est nécessairement

multisectorielle, adoptant une approche holistique, mais nécessite également une dose de réalisme pour établir des priorités et adopter une démarche graduelle et un séquençage. La stratégie opérationnelle consiste à réaliser sur le terrain des activités opérationnelles de gestion durable des ressources et à entreprendre parallèlement des mesures d'accompagnement sous forme d'activités génératrices de richesse, de renforcement des infrastructures et des services sociaux de base et de développement de programmes de recherche d'accompagnement sur des thématiques pertinentes dans la mise en œuvre. Elle est structurée autour des concepts et composantes suivants :

- le concept de tracé « bande d'unités végétales multi-espèces », intégrant d'autres systèmes d'utilisation des terres. Certes, la situation est préoccupante dans toutes les zones sahéliennes du Circum-Sahara et justifie leur prise en charge dans l'Initiative GMV. Toutefois, la complexité et l'ampleur des défis et l'importance des moyens à mobiliser pour une mise en place correcte d'une telle initiative imposent un séquençage à plusieurs étapes. Le concept Grande Muraille Verte Dakar-Djibouti sur les onze (11) pays du sud du Sahara (*Sénégal, Mauritanie, Mali, Burkina Faso, Niger, Nigeria, Tchad, Soudan, Éthiopie, Érythrée, Djibouti*) traduit l'idée de base et se justifie simplement par le caractère prioritaire et l'urgence d'agir d'abord sur la partie au sud du Sahara. En effet, l'état de dégradation des terres et l'avancée inexorable de la désertification dans cette partie de l'Afrique revêtent un caractère particulier fait de désolation, de précarité, de pauvreté et d'insécurité alimentaire. Agir d'abord sur cette zone est la priorité des priorités dans le séquençage de l'Initiative, qui sera étendue au terme de la revue à mi-parcours à d'autres zones du Circum-Sahara ;

- la contrainte « minimum 100 mm » de moyennes annuelles pluviométriques. Les paramètres écologiques déterminants dans les zones arides restent la pluviométrie et la variabilité climatique, tandis que les leviers sûrs du développement demeurent la gestion durable des ressources naturelles, en particulier agricoles, sylvicoles et pastorales. L'agriculture sous pluie et le pastoralisme sont les bases de la production rurale. La prise en compte de la limite « minimum pluie 100 » est fondamentale dans la délimitation du tracé, contenu dans les moyennes annuelles pluviométriques entre 100 et 400 mm ;

- l'adaptabilité et l'acceptabilité des espèces végétales et animales

Les espèces sont essentiellement autochtones et à fonctions et usages multiples, sélectionnées pour leur résistance au stress hydrique, leur adaptation aux terres arides mais aussi pour leurs valeurs économiques et écologiques, leur plasticité écologique et leur acceptabilité par les populations locales.

Dans sa structure, la bande végétale renferme diverses composantes à vocations différentes :

(1) des unités végétales multi-espèces. Elles comprennent :

- des formations naturelles reliques (forêts classées, communautaires et privées) ;
- des formations artificielles anciennes ou nouvelles (y compris les forêts privées issues des programmes et projets de la zone), ou à créer à travers des programmes de reboisement ou de regarnissage ;

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

– des réserves botaniques pour la conservation de la biodiversité végétale, des mises en défens et des périmètres de Régénération Naturelle Assistée au niveau d'aires forestières plus ou moins dégradées.

(2) des unités agro-sylvo-pastorales. Les unités de systèmes de production intégrés agricoles, sylvicoles et pastoraux restaurés comprennent :

– des cultures annuelles sous verger, périmètres hydro-agricoles arborés, parcs arborés, périmètres maraîchers, vergers de plantations fruitières et jardins polyvalents ;  
– des pâturages et des zones de parcours et de transhumance villageoises et inter-communautaires ;

– des parcs animaliers, des couloirs de migration de la faune, des aires protégées, notamment des aires et réserves communautaires de faune avec les installations de support, des parcs nationaux en intégralité ou en partie.

(3) des corridors d'ouvrages hydrauliques et autres points d'eau. Il est prévu de réaliser sur le long du tracé et au niveau des points bas et des zones humides fossiles un ensemble de bassins de rétention des eaux de pluie et de ruissellement, des mini-barrages, des forages hydrauliques et des puits pastoraux, et de réhabiliter tous points d'eau existants.

(4) des infrastructures sociales et commerciales de base. Il s'agit d'accompagner les activités opérationnelles par l'aménagement d'infrastructures de production et de transformation des produits de la Grande Muraille Verte, par la mise en place d'opportunités de création de richesses, mais également de services socio-économiques de base dans les domaines de l'énergie (privilégier les énergies renouvelables et domestiques traditionnelles), de l'éducation, de la santé et de l'eau (forages, puits, mares, lacs...) dans les zones d'emprise de la GMV.

Le management et la coordination de la stratégie reposent sur le respect d'un certain nombre de principes directeurs et l'atteinte des cibles des indicateurs et défis :

– la flexibilité dans l'approche. La stratégie de gestion, de coordination et de suivi est orientée vers la responsabilisation accrue des Communautés à la base dans la gestion des programmes de leurs terroirs. La GMV ne se substitue pas aux efforts nationaux de lutte, mais leur apporte une nouvelle approche stratégique et une autre conception de gestion intégrée du faisceau matriciel des problématiques de désertification, changement climatique, protection, restauration, conservation et gestion durable des systèmes de production interférant sur le développement des terroirs ;

– l'approche participative. La stratégie opérationnelle GMV place les bénéficiaires et les acteurs locaux à l'amont et à l'aval des activités, avec un encadrement institutionnel pratique, non contraignant et non dirigiste. L'atteinte des objectifs et la pérennisation des impacts seront facilitées par la forte implication des populations ;

– le pragmatisme et le réalisme sur les ressources. Le contexte économique mondial actuel très peu favorable aux appuis financiers durables justifie le pragmatisme et le réalisme dans les attentes de financements extérieurs et recommande au moins pour les deux à trois premières années du Plan d'action quinquennal que les États membres comptent d'abord sur leurs capacités et moyens propres pour impulser la dynamique, tout en exploitant les opportunités offertes à travers les

mécanismes financiers (Climdev, Fonds Vert, finances carbone, guichets FEM, etc.) et la mobilisation populaire dans les différentes strates de nos populations ;

– le cadre logique axé sur les résultats. La stratégie d’approche est axée sur les priorités et besoins de la Communauté de base (UCIDD) à travers un modèle de gouvernance locale conférant à la population locale l’autonomie et la responsabilité de gestion par des techniques à leur mesure ;

– l’éradication de la pauvreté et de l’insécurité alimentaire, par l’émergence de Pôles ruraux de production et de développement durable (PRPDD) et l’instauration de systèmes de gestion durable des ressources naturelles et de gouvernance locale. Dans le cas spécifique du développement de l’agriculture, de la foresterie et du pastoralisme, secteurs clefs dans les stratégies d’éradication de la pauvreté et de l’insécurité alimentaire dans la GMV, les défis portent sur le risque climatique, l’insuffisance d’infrastructures et d’aménagements hydro-agricoles de qualité, la faiblesse des investissements structurants et l’insuffisance de ressources humaines aptes à prendre en charge la problématique globale, intégrée et multidisciplinaire du développement rural. La stratégie met l’accent sur ces contraintes ;

– le renforcement de capacités techniques dans divers aspects de mise en œuvre de la GMV, notamment la planification stratégique, la cartographie de l’occupation des sols, la gestion et le suivi-évaluation des ressources naturelles, l’identification, la rédaction et la gestion de programmes efficaces d’adaptation et de résilience aux défis climatiques et environnementaux, le plaidoyer et la problématique genre ;

– l’identification et le transfert de technologies alternatives appropriées susceptibles de favoriser la transition à l’économie verte ;

– le taux zéro pour cent (0 %) de dégradation des terres, la restauration qualitative et quantitative des terres et la gestion durable et rationnelle des ressources naturelles ;

– la réhabilitation et l’aménagement des systèmes de production agricoles et pastoraux dans les terroirs de la GMV ;

– la mise en place du réseau GMV de systèmes harmonisés de gestion et de suivi-évaluation en temps réel au niveau des structures GMV ;

– la gestion correcte des conflits. La forte compétition sur l’espace rural entre acteurs et activités, notamment entre éleveurs et agriculteurs, transhumance et reverdissement, aires agricoles, pastorales et boisées implique dans la gestion du terroir une concertation inclusive, une appropriation par tous les acteurs des contraintes et obligations et ensuite une gouvernance locale appropriée ;

– la mise en place d’une plateforme technique de recherche opérationnelle et d’échange de données scientifiques et de valorisation des savoirs traditionnels ;

– la promotion d’une bonne communication, d’un plaidoyer et d’un marketing des programmes, permettant une forte implication des populations à tous les cycles de mise en place de l’initiative GMV ;

– la mobilisation et l’utilisation efficace des ressources en eau. La mobilisation et la gestion des ressources en eau constituent un défi majeur. Des actions et techniques adaptées et accessibles de mobilisation, de récupération et de gestion des eaux de surface, des précipitations et des eaux souterraines sont indispensables ;

- la mise en cohérence et la coordination opérationnelle des activités de lutte et de développement rural ;
- la prise en charge correcte des réalités, des mentalités et des cultures des populations des zones agro-sylvo-pastorales, et en majorité nomades et pasteurs ;
- la sécurisation des biens et initiatives privés. L'hétérogénéité des contextes et des systèmes juridiques, notamment sur le foncier, à l'échelle des États membres pays ne facilite pas la mise en place d'une politique d'accès à la terre et de sécurisation de l'initiative privée, nécessaire à la pérennisation et à la durabilité de l'investissement et de l'engagement à long terme des partenaires techniques, scientifiques et financiers.

## **5.2. Planification stratégique**

La diversité des interventions et des intervenants, la complexité et les spécificités des problématiques dans les différentes zones éco-géographiques recommandent l'identification d'axes majeurs fédérateurs sur lesquels sera fondée la planification stratégique de mise en œuvre de la Grande Muraille Verte.

Les systèmes et techniques ciblés dans l'Initiative visent les meilleures techniques, expériences et pratiques réussies, « best practices », notamment en technique de mise en défens, régénération naturelle non assistée (RNA), restauration des terres dégradées, aménagement de systèmes agricoles et pastoraux, protection de forêts et bassins versants, sensibilisation et mobilisation. La capitalisation servira de base dans la sélection des techniques et systèmes d'exploitation et dans l'identification de la situation de référence, tant au plan du développement humain qu'environnemental. Les références locales seront améliorées par les données nouvelles de la recherche d'accompagnement. La capitalisation des expériences et des savoirs locaux et la planification à la base validée par les populations sont les leviers de la stratégie. Cette démarche traduit l'accent mis sur l'implication active et effective des populations à toutes les étapes de la mise en œuvre.

L'opérationnalisation de la GMV s'appuie sur une planification stratégique sur objectifs traduite en Plan d'action régional à cycle quinquennal, une coordination et un mécanisme de suivi-évaluation tant à l'échelle régionale que nationale. L'élaboration du Plan d'action régional part de la consolidation des divers Plans d'action nationaux (PAN) des États membres issus d'un dialogue national inclusif et participatif de la base au niveau central pour bâtir une alliance nationale forte et durable dans la mise en œuvre de la GMV.

La planification stratégique s'articule autour des orientations majeures suivantes, cadrant avec la vision, les objectifs, les résultats attendus et la stratégie opérationnelle :

- un document cadre de planification par la consolidation des Plans d'action nationaux de mise en œuvre de la GMV, mis en cohérence avec les politiques nationales en la matière et traduit en Plan d'action régional à cycle quinquennal doté de mécanismes d'évaluation et de revues à mi-parcours chaque deux ans ;
- quatre (04) paradigmes d'objectifs « Conservation/Protection/Restauration/Développement » ;

- une stratégie de management sur trois véhicules C, Communication, Concertation, Capitalisation ;
- des activités d’information et de partage, de sensibilisation et de renforcement des capacités techniques et de gestion des acteurs à la base ;
- une capitalisation et une valorisation des résultats, expériences et données pertinents,
- un Système de suivi-évaluation et d’observatoire de l’évolution de la Muraille Verte et de ses impacts sur le développement humain et l’environnement ;
- une Recherche scientifique d’accompagnement et de valorisation de savoirs traditionnels, à travers un Réseau régional de centres d’excellence de recherche et de formation (RERCERF) ;
- une Plateforme de partenariat et de coopération scientifique, technique et financière (PPCSTF) : organe statutaire consultatif de partage d’informations, de concertation et de suivi et évaluation des actions ;
- une stratégie de mise en œuvre centrée sur « le terroir et la Communauté de base » et s’appuyant sur l’Unité communautaire intégrée développement durable (UCIDD), organe de gestion de la Communauté de base.

### **5.3. Le Plan d’action quinquennal (PAQ) 2011-2015**

Le premier cycle quinquennal 2011-2015 de planification stratégique a pour objectif final d’installer dans ces terroirs arides au terme des cinq ans les bases durables et opérationnelles d’une transformation socio-économique et environnementale favorables à l’émergence de Pôles Ruraux de Développement Durable (PRDD) capables de faire face aux défis environnementaux et climatiques et de juguler la pauvreté et l’insécurité alimentaire.

#### **APPROCHE CONCEPTUELLE**

Le Plan d’action quinquennal 2011-2015 s’articule autour de l’approche conceptuelle suivante :

- des activités opérationnelles (AO) de terrain, de reboisement, restauration, conservation et de protection des terres et des ressources en eau et de la biodiversité par une gestion durable ;
- un package d’activités d’accompagnement relatives au développement communautaire et à la gouvernance locale. Il s’agit de promouvoir des activités de création de richesse, de réhabilitation et de renforcement des aménagements d’appui aux systèmes de production et d’exploitation agro-sylvo-pastoraux, d’infrastructures communautaires socio-économiques et commerciales de base (santé, éducation, énergie, communications, etc.) ainsi que de renforcer les bases de bonnes pratiques de gouvernance locale et de gestion à l’échelle nationale, locale et à la base (UCIDD) ;
- la Recherche d’accompagnement & développement (RA&D) et la valorisation des savoirs locaux à travers des programmes de recherche thématique, de recherche opérationnelle sur des sujets d’intérêt pour la réalisation, le suivi et la valorisation de la GMV ;

- des modules de renforcement des capacités, de perfectionnement et d'échanges d'expériences ;
- des actions périodiques de suivi & évaluation ;
- de la communication, du marketing et du plaidoyer.

#### **AXES STRATÉGIQUES MAJEURS ET PILIERS PROGRAMMATIQUES**

Le Plan d'Action (PAQC 2011-2015) repose sur quatre (04) socles GMV en Axes stratégiques majeurs (ASM), s'appuie sur des Piliers programmatiques en Objectifs stratégiques majeurs (OSM) et se réalise en Programmes/Projets prioritaires (PP), identifiés des piliers programmatiques. Les programmes et projets prioritaires sont répartis dans quatre portefeuilles de programmes prioritaires calés sur les ASM qui sont ainsi définis :

- **ASM 01. Communication, Marketing et Plaidoyer (CMP)**

Ce volet est particulièrement important dans l'adhésion et la mobilisation des masses populaires et de la communauté internationale. Il s'agit sur la base de Plans de communication basés sur l'utilisation des médias, de leaders d'opinion dans les différents genres et générations et divers supports de communication de dérouler une stratégie de communication, de plaidoyer et de marketing pour assurer une bonne appropriation de l'Initiative et réaliser une grande mobilisation et une forte adhésion des populations, des acteurs et des partenaires autour de la Grande Muraille Verte.

- **ASM2. Développement communautaire et de gouvernance locale (DC/GL)**

Il s'agit d'un package d'actions d'accompagnement de type : Promotion d'activités génératrices de richesse, Renforcement de la disponibilité et de l'accès aux services socio-économiques de base, Organisation et installation des bases efficaces de gouvernance locale et de gestion durable des ressources naturelles.

- **ASM3 : Recherche d'accompagnement & développement (RA&D)**

L'opérationnalisation de l'Initiative s'appuie sur la disponibilité de données scientifiques et techniques fiables de conception et d'aide à la décision acquises par capitalisation mais aussi par des activités de recherche thématique d'accompagnement et la valorisation des savoirs traditionnels. L'atteinte d'un tel objectif passe par la mise en place d'un réseau régional de centres d'excellence de recherche et de formation (RCERF) et de supports à la production et la dissémination d'informations et de résultats scientifiques pertinents à travers une mise en réseau au niveau régional de laboratoires et d'équipes de recherche.

- **ASM 04. Activités opérationnelles (AO)**

Les Activités Opérationnelles visent des actions de lutte contre la désertification, de conservation/protection de la biodiversité, des terres et des ressources en eau, notamment celles d'agroforesterie, de reboisement, d'agriculture familiale, de foresterie et de pastoralisme, et d'amélioration des systèmes de production agro-sylvo-pastoraux.

Le tableau III donne un aperçu de l'architecture du Plan d'action quinquennal 2011-2015 et indique les Piliers programmatiques et les quatre (04) Portefeuilles avec leurs Programmes prioritaires.

Tableau III

AXES STRATÉGIQUES MAJEURS (ASM) SOCLES	Objectifs stratégiques majeurs (OSM) Piliers programmatiques (PP)	PORTEFEUILLES	Programmes/Projets prioritaires Sous-programme SP	Matrice de mise en œuvre 2011-2015				
				2011	2012	2013	2014	2015
ACTIVITÉS OPÉRATIONNELLES (AO)	PP/AO.1 : Restauration, Conservation des Terres, des Eaux et la Biodiversité	<b>AO</b>	Restauration, Conservation et Gestion durables des Ressources naturelles et de la biodiversité					
	PP/AO.2 : Agroforesterie & Reboisement		Agroforesterie et Reboisement					
	PP/AO.3 : Agriculture, Forêts et Pastoralisme		Amélioration et renforcement des systèmes de production					
	PP/AO.4 : Systèmes de Suivi et de Gestion des Ressources		Systèmes de Suivi et de Gestion des Ressources					
COMMUNICATION, MARKETING & PLAIDOYER (CMP)	PP/CMP.1 : Communication et Plaidoyer	<b>CMP</b>	Communication et Plaidoyer					
	PP/CMP.2 : Système d'Information et Gestion		SIG, Observatoire & Publications					
RECHERCHE D'ACCOMPAGNEMENT DÉVELOPPEMENT (RA&D)	PP/RA&D.1 : Formation et perfectionnement	<b>RA&amp;D</b>	Formation, Perfectionnement et Échanges					
	PP/RA&D.2 : Capitalisation et valorisation des savoirs locaux		Savoirs traditionnels et technologies améliorées					
	PP/RA&D.3 : Recherche scientifique thématique		Réseaux et Mobilité scientifiques					
	PP/RA&D.4 : Recherche opérationnelle		Recherche opérationnelle et valorisation					
DÉVELOPPEMENT COMMUNAUTAIRE ET GOUVERNANCE LOCALE (DC/GL)	PP/DC/GL.1 : Richesses et Sécurité alimentaire	<b>DC/GL</b>	Activités génératrices de richesses					
	PP/DC/GL.2 : Infrastructures communautaires de base		Accès aux besoins domestiques et aux services socio-économiques de base					
	PP/DC/GL.3 : Gouvernance locale et retour aux terroirs		Gouvernance locale et retour aux terroirs					
	PP/DC/GL.4 : Amélioration des capacités de séquestration du CO <sub>2</sub> des systèmes de production		Budget carbone de la GMV					
	PP/DC/GL.5 : Suivi & Évaluation des impacts des Programmes de Développement		Évaluation des impacts sur le Développement humain et l'Environnement					



#### 5.4. Gestion, suivi et évaluation

Le management dans la mise en œuvre de la planification repose sur le triptyque *Communication, Concertation, Capitalisation* par les divers acteurs et bénéficiaires. L'approche participative impliquant les populations locales, les producteurs et usagers de même que la régie participative sont des approches adoptées dans la GMV. Elles visent la responsabilisation et l'autonomie des cibles et bénéficiaires dans la gestion et l'évaluation et nécessitent à ce titre l'identification et la mise en place d'un important programme de renforcement de capacité des acteurs dans les domaines prioritaires.

L'APGMV s'appuie dans ses missions sur les structures spécialisées locales, nationales, sous-régionales et internationales publiques ou privées, compte tenu des avantages comparatifs et du contexte du milieu d'implantation. Elle assure ainsi la cohérence transversale des actions par une coordination dynamique à travers des orientations communes concertées à toutes les étapes du processus de conception, de planification, de mise en œuvre, de suivi et d'évaluation des actions et de leurs impacts.

Les dispositifs nationaux existants de surveillance et de protection ainsi que de suivi-évaluation seront consolidés et renforcés par l'utilisation de données satellitaires et de Systèmes d'information géographique et l'établissement de cartes thématiques.

L'évaluation des programmes et projets se fera sur la base des objectifs fixés, des impacts positifs, des indicateurs de performance et cibles vérifiables et la durabilité des acquis. Elle se fera par pays et à l'échelle régionale. Les programmes feront l'objet de revues à mi-parcours tous les deux (02) ans selon les procédures définies en relation avec les acteurs, les partenaires et les bénéficiaires pour adopter les corrections et réorientations nécessaires.

La production de rapports périodiques pays et du rapport global annuel de l'Agence Panafricaine sur le fonctionnement, l'avancement et performance, les résultats et les impacts des programmes ainsi que les rapports de sessions du Conseil des Ministres sont autant de sources d'informations.

La création d'un portail numérique *grandemurailleverte.org* dans lequel sont logées toutes les données accessibles aux partenaires et acteurs permet également d'avoir une meilleure visibilité sur les programmes et leurs performances et de la transparence dans la gestion.

## Références

APGMV (2010)

Convention portant création de l'Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte, 13 p., *Publication interne Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte.*

CILSS (2012)

Caractérisation des milieux : évaluation et gestion des ressources naturelles transfrontalières des zones du tracé de la GMV : *Atelier régional PNUE/APGMV, 05-07 mars 2012, Ouagadougou, Burkina Faso.*

Dia A (2011)

Document cadre de Plan d'Action quinquennal 2011-2015 de l'Agence Panafricaine de la Grande Muraille Verte, 79 p., *Publication interne Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte*

Dia. A & Duponnois. R. (2010)

Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre, *IRD Editions, 2010, 438 p.*

ENDA Énergie (2012)

Évaluation rapide de la situation socio-économique des pays de la GMV et de leur capacité d'adaptation aux changements climatiques : *Doc. atelier régional PNUE/APGMV, 05-07 mars 2012, Ouagadougou, Burkina Faso, 61 p.*

PNUE (2012)

Évaluation rapide sur les services écosystémiques et les forces motrices de changement dans le contexte de la Grande Muraille Verte : *Atelier régional PNUE/APGMV, 05-07 mars 2012, Ouagadougou, Burkina Faso.*



## Partie I

# Contexte socio-économique et anthropologique



# Capacités d'adaptation des populations burkinabè aux effets du changement climatique, questionnements sur leurs sociétés et perspectives de recherches

*PROFESSEUR RAM CHRISTOPHE SAWADOGO*

Sociologue  
Université Ouagadougou, Burkina Faso  
UFR – Sciences humaines – Département de sociologie

## Résumé

Trois études réalisées en 2001, 2002 et 2005 au Burkina Faso identifient un éventail d'expériences d'adaptation aux effets des perturbations environnementales et des changements climatiques.

Celles-ci constituent des réponses adaptatives à trois types de préoccupations et de situations :

- la biodiversité agricole,
- la dégradation environnementale,
- la variabilité et les changements climatiques.

Les acteurs des expériences sont des producteurs du monde rural, exerçant dans l'agriculture et/ou dans l'élevage et répondant de statuts de chefs d'exploitation, de chefs de ménage, de femmes et de célibataires.

Les expériences présentées ont vu leur efficacité et leurs impacts positifs évalués par les producteurs eux-mêmes et également par des études ayant procédé à des mesures d'indicateurs.

Des analyses sur la vulnérabilité et les capacités évolutives des sociétés concernées ont également été conduites. Des perspectives de recherche sont envisagées.

### Mots clés

SOCIÉTÉS AFRICAINES, CAPACITÉS ET EXPÉRIENCES D'ADAPTATION, BIODIVERSITÉ AGRICOLE,  
DÉGRADATION ENVIRONNEMENTALE, VARIABILITÉ ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES, RECHERCHES

## Introduction

La prise de conscience de la fragilité de l'écosystème de la planète Terre, née de la conférence de Rio de Janeiro de 1992, s'est particulièrement renforcée avec l'accroissement des effets des changements climatiques, observables surtout dès la moitié des années 1990 (Protocole de Kyoto signé le 11 décembre 1997, entré en vigueur le 16 février 2005).

Au Burkina Faso, pays sahélien, ces effets des changements climatiques se trouvent renforcés d'une part, par ceux engendrés par les sécheresses répétées depuis 1973 et d'autre part, par les conséquences d'événements sociopolitiques et économiques : retours massifs des émigrés burkinabè rapatriés de la Côte d'Ivoire en 1999 (conflits fonciers), mais surtout crise sociopolitique en 2002 (Lors du recensement général de la population et de l'habitation du pays en décembre 2006, ces retours cumulés ont représenté 613 662 personnes immigrées entre 1996 et 2006 (RGPH 2006, Rapport sur le thème 9, page 4)), crise alimentaire consécutive au renchérissement des prix en 2008 et désarroi des sinistrés des inondations du 1<sup>er</sup> septembre 2009.

Cette prise de conscience s'est traduite de plusieurs manières selon les cadres d'action des acteurs : les plans d'interventions et d'actions de secours sur le terrain pour les acteurs étatiques et assimilés, les recherches pour les structures compétentes dans ce domaine, de niveau international, régional, ou national : les programmes Amma, Ammanet et Ripiecsa en sont des illustrations.

Pour le présent ouvrage dont l'une des intentions est d'établir le bilan de 50 ans d'expériences de connaissances scientifiques, techniques et de savoirs locaux, cette contribution se propose de faire le point des expériences qui témoignent des capacités d'adaptation des producteurs ruraux aux effets des perturbations environnementales, à travers quatre recherches réalisées au Burkina Faso en 2001, 2002, 2005 et 2009.

Les études de 2001 (projet IPGRI/*in situ*), de 2002 (projet NIRP), et de 2005 (projet Sirba) présentent les capacités d'adaptation face aux effets de sécheresse, de dégradation écologique et de changement climatique sur les systèmes de production ruraux et plus particulièrement :

- pour l'étude de 2001 : identifier les niveaux de connaissance, répertorier les facteurs sociaux, culturels, économiques et écologiques qui, chez les paysans, interviennent dans les choix de diversité biologique agricole et les stratégies de leur réalisation ; appréhender, sous l'angle économique, les niveaux des productions ainsi que leurs destinations principales ;
- pour l'étude de 2002 : identifier, dans un contexte de péjoration climatique et de détérioration des conditions de la production agricole, les niveaux de connaissance des effets de sécheresse et répertorier les facteurs sociaux, culturels, économiques et écologiques qui interviennent dans les choix génétiques des producteurs ; elle a concerné un échantillon de 180 chefs d'unités domestiques et de 539 producteurs répartis dans 16 localités de trois sites ;
- pour l'étude de 2005, effectuée dans une coopération entre le CILSS, Agryhmet, le ministère de l'Agriculture du Burkina Faso et l'université de Ouagadougou, à

travers les aspects socio-économiques d'un projet intitulé « Adaptation au changement climatique pour le système hydrologique des fleuves sahéliens et des bassins versants de leurs affluents : cas de la Sirba au Burkina Faso » : repérer les formes d'adaptation des producteurs aux effets du changement climatique et les perspectives d'amélioration envisagées à leur niveau ; l'échantillon a concerné 910 producteurs comprenant des agriculteurs, des agropasteurs, des éleveurs d'embouche et des maraîchers, de la région est du Burkina Faso ;

– pour l'étude 2009, au-delà des témoignages de capacités d'adaptation aux effets de toutes les perturbations environnementales que portent les quatre études, la présente contribution discute également l'efficacité de ces formes d'adaptation au regard d'indicateurs possibles de mesure des effets de celles-ci sur le maintien des niveaux de productions agricoles, de celui de l'alimentation et des revenus des producteurs ruraux.

Enfin, l'exploitation des résultats de ces quatre études a permis d'ouvrir deux séries de perspectives :

- des analyses structurelles et organisationnelles sur les sociétés concernées, explicitant à la fois, leur niveau de vulnérabilité et leurs capacités évolutives ;
- deux projets de recherche, en vue de contribuer au renforcement de la recherche scientifique dans le repérage des solutions de gestion actives, participatives et efficaces des effets des perturbations environnementales.

## Expériences de capacités d'adaptation des producteurs ruraux face aux effets des perturbations environnementales

La présentation de ces expériences, à travers les quatre études mentionnées, traitera, pour chacune d'elles, de trois aspects principaux, à savoir la problématique, la méthodologie et les formes d'adaptation constatées.

### **Projet IPGRI / *in situ***

#### **PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE**

Le niveau et la qualité des productions agricoles dont l'homme et la société ont besoin sont fonction de facteurs à la fois naturels et humains. Les facteurs naturels, souvent considérés comme des contraintes, connaissent depuis les trois dernières décennies, une péjoration prononcée qui en affecte le potentiel productif de manière générale et sensible et introduit des différences notables entre plusieurs saisons successives ou à l'intérieur d'une même saison, entre les régions, les localités, etc.



L'homme et la société, par leurs capacités de créativité, d'adaptabilité et d'organisation, donc d'inflexion, de correction, de conservation et de promotion de ce potentiel de production, deviennent les acteurs finalement déterminants du niveau et de la qualité de ces productions, notamment par le capital de connaissances des espèces de cultures et des conditions de leur meilleure productivité.

Plusieurs questions alors se profilent :

- quels sont les éléments constitutifs de ce capital ?
- à quels référents culturels, économiques, écologiques, humains se rapportent les choix qu'opère le producteur pour une campagne ou pour une culture donnée ?
- à quelles stratégies de réalisation obéissent les choix décidés ? ou quels moyens met-il en œuvre pour les réaliser ?
- se donne-t-il des perspectives d'amélioration, de perfectionnement, de meilleure utilisation/exploitation de la diversité biologique agricole ?

L'étude a couvert trois villages de trois régions écologiquement différentes (Ouahigouya, Tougouri et Thiougou) et a, pour une meilleure représentativité à la fois statistique et qualitative des résultats, concerné 180 personnes dont 60 chefs d'exploitations familiales et 120 autres membres de ces mêmes unités domestiques

Pour chacune de ces sous-catégories, la recherche de la plus grande diversité dans la représentation des diverses réalités sociales requiert la ventilation entre les variables telles que le sexe, l'âge, la religion, les activités économiques, le statut migratoire, le niveau d'instruction, l'ethnie, retenues comme discriminantes dans les attitudes et les opinions qui seront enregistrées. Au total, l'échantillon global a réuni 359 personnes individuelles et réalisé 17 entretiens de localités.

#### **PRINCIPAUX RÉSULTATS SUR L'ADAPTATION AUX EFFETS DES PERTURBATIONS ENVIRONNEMENTALES**

Les principaux résultats ont concerné trois domaines, dont les deux plus importants sont :

- La connaissance de la biodiversité génétique et la logique du comportement des paysans :
  - un répertoire de 81 espèces différentes distingue des groupes d'arbres, de plantes et des herbes ;
  - 53 espèces sont déclarées utiles dans un champ, sur la base d'au moins sept effets positifs et leurs modes d'identification reposent sur au moins six repères précis : la taille de l'arbre, le caractère d'arbres épineux, la couleur et la forme du tronc, la forme des feuilles, la couleur et la forme des fruits, la taille et la forme des herbes ;
  - de même, 70 % des paysans enquêtés utilisent des critères précis pour justifier pourquoi certaines plantes sont maintenues expressément sauvages : l'existence de l'espèce en grand nombre, son caractère inhabituel, l'ignorance des conditions d'une domestication de l'espèce, le manque de moyens pour réussir sa domestication ;
  - au moins 51,4 % des paysans identifient les parties utiles des plantes et 71,7 % d'entre eux en précisent les domaines d'usages actuels ;
  - 94,3 % et 94,1 % des paysans identifient le lieu et la période propices à la germination des espèces végétales.

Ainsi, 84,9 % des paysans évoquent les comportements préconisés qui visent à la protection, la sauvegarde et la promotion de l'environnement, à savoir : la plantation d'arbres (reboisement), la sauvegarde de la nature, la lutte contre le ruissellement des eaux, etc.

- Les aménagements et les déplacements de champs, les classements des spéculations et des espèces, les abandons de cultures et les nouvelles cultures toujours souhaitées :
  - sur 60 chefs d'unités domestiques qui pratiquent les déplacements des champs (mise en jachère), près d'un tiers (27,3 %) justifient ces déplacements de champs par le mauvais rendement du champ (6,2 %), le vieillissement du sol (7,2 %), l'infertilité ou la pauvreté du sol (13,9 %), le déguerpissement (1,4 %) ;
  - les aménagements sont réalisés pour restaurer la fertilité du sol : 52 % ;
  - de même, le classement par ordre d'importance des cultures actuellement pratiquées répond à une logique contextuelle donnant la priorité successivement aux produits de base de l'alimentation, puis à ceux secondaires et enfin à ceux destinés à la commercialisation.

### **Projet NIRP : étude sur la « Participation des agriculteurs aux projets de lutte contre l'érosion : un problème d'intervention adapté aux problèmes sociaux » (2002)**

#### **PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE**

La problématique de ce sujet prend en compte des considérations théoriques et empiriques.

Au plan théorique, il s'agit de relever que la prise de conscience de la fragilité de notre environnement et de la nécessité de déployer des efforts pour sa conservation et sa pérennisation s'est surtout consolidée, notamment dans les pays du Sud, avec la première conférence mondiale des Nations unies sur l'environnement humain durable de 1992 à Stockholm. L'écologie humaine, déjà différenciée de l'écologie biologique, précise davantage les aspects dynamiques de cette relation de l'homme à son environnement : elle est « une étude des relations spatiales et temporelles des êtres humains en tant qu'elles sont affectées par les forces sélectives, distributives et adaptatives de l'environnement » (Mckenzie, cité par Glaeser, 1997 : 30).

Aussi, en concédant que les actions de lutte contre l'érosion et la désertification s'inscrivent nécessairement dans cette mise en rapport active, dynamique des hommes avec leur environnement, notre sujet relève assurément de la problématique générale de l'écologie humaine et par-delà, de l'écodéveloppement et plus spécifiquement de l'agriculture biologique.

Dans cette perspective, figuraient, parmi les objectifs du projet, les deux préoccupations suivantes :

- évaluer les capacités, les structures institutionnelles existantes dans les communautés rurales pour une action collective de lutte contre l'érosion ;
- développer un modèle fondé sur les résultats de l'étude, précis et sensible aux dimensions sociales pour une intervention des décideurs politiques tant au niveau régional (ONG, extension de services...) que national.

Outre l'exploitation documentaire, une enquête de terrain a été réalisée. L'échantillon de celle-ci a concerné des localités choisies en fonction de l'état de la dégradation écologique (forte et faible) et du niveau d'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols (CES : fort et faible). Dans chaque localité, 35 exploitations agricoles ont été retenues ; dans chaque exploitation, sont soumises à l'étude 4 personnes : le chef de famille, un chef de ménage, une femme, et un jeune célibataire titulaire d'un champ individuel. Sur les deux régions retenues, l'échantillon global est de 702 personnes soumises à l'enquête dont 173 chefs d'exploitations familiales, 177 chefs de ménages, 175 célibataires, 177 femmes.

Les outils utilisés ont été constitués de questionnaires, de guide-entretiens individuels et collectifs, du focus group et de la Méthode active de recherche participative (Marp) (profil historique, carte de ressources, classification préférentielle des technologies et diagramme de Venn).

#### PRINCIPAUX RÉSULTATS SUR L'ADAPTATION AUX EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les résultats des analyses effectuées ont concerné les quatre niveaux suivants :

- le niveau de connaissance de l'état de dégradation de l'environnement par les populations,
- l'état de leurs connaissances sur les innovations dans les pratiques culturelles, les procédures de leur adoption et l'identité des acteurs sociaux, l'accès pour les autres membres de l'exploitation,
- les facteurs déterminants des adoptions (motifs et connaissance des effets positifs ou négatifs),
- la question de genre dans ces processus.

#### **Le niveau de connaissance de l'état de dégradation de l'environnement par les populations des zones de l'étude**

Par la carte des ressources de la Marp, les paysans ont pu relever les écarts dans le couvert végétal existant il y a trente ans : la flore du terroir était très riche et très variée dans les cinq localités (lianes goïnes : *Saba senegalensis*, caillécdrats : *Kaye senegalensis*, jujubiers : *Zizyphus mauritiana*, kapokiers : *Bombax cotatum*, néré : *Pakia biglobosa*, karité : *Vittelaria paradoxa*, etc.). Elle se réduit aujourd'hui à des épineux (*Acacia seyal*, *Acacia albida*, etc.) et à des espèces exotiques telles que l'*Azadirachta indica* ou neem, etc. ; le nombre et les superficies des mares et des forêts se sont considérablement amenuisés, les aires de champs se sont agrandies (Somiaga, Kamena) ou ont changé de localisation (Lanfiéra), les sols pauvres sont devenus plus étendus (Yaran).

De même, plusieurs des espèces d'animaux sauvages (lions, panthères, éléphants, antilopes, gazelles, hyènes, buffles, zèbres) présentes il y a trente ans, ont aujourd'hui disparu.

Beaucoup d'espèces de la faune piscicole à Yaran, autrefois très abondantes, ont fortement régressé en effectifs, telles : le capitaine, le poisson dormeur, le poisson chien, le poisson cheval, les tilapias, et le poisson pana.

**L'état de leurs connaissances sur les innovations dans les pratiques culturelles**

- Contexte : le besoin d'innovations culturelles s'est révélé avoir été fonction de l'intensité de l'activité agricole des familles (effectif moyen et superficie moyenne des champs : entre 4 et 5 champs) et des statuts familiaux (viennent en tête les célibataires (5), suivis par les femmes (4,5), ensuite les chefs de ménage (4) et enfin les chefs d'exploitation familiale (3,5) ; pour les superficies, c'est l'ordre inverse : 2 à 2,5 ha pour les chefs d'exploitation familiale (CE) et les chefs de ménage (CM), 0,5 ha pour les femmes et les célibataires.
- L'état des connaissances de ces innovations culturelles par les paysans : les plus forts taux sont détenus par les chefs de ménage pour les mesures de CES-AGF et les aménagements anti-érosifs (81 % fumier, 46 % zaï), tandis que les chefs d'exploitation détiennent les scores les plus élevés pour la connaissance des intrants (fumier : 81 %) et de l'équipement agricole (charrue : 57 %). Les femmes viennent en troisième position dans le cas des mesures de CES-AGF, mais cèdent leur place aux célibataires dans l'équipement agricole.
- Les modes d'acquisition : le plus usuel est l'achat.
- La propriété : la forme dominante est la propriété familiale, entendue au double niveau du ménage comme à celui de la concession ou encore de l'exploitation : charrue : 77 % contre 22 %, charrette : 66 % et 32 %.
- Les acteurs sociaux, personnes ou structures intermédiaires : majoritairement les chefs d'exploitations familiales, par l'intermédiaire de l'Église catholique et des ONG.
- Les modes d'accès à ces innovations par les autres membres de l'exploitation : les liens internes à l'exploitation familiale.

**Les facteurs déterminants des adoptions**

- Motifs d'adoption : pour les quatre statuts de producteurs, c'est la recherche de meilleurs rendements et de la fertilité des sols, surtout pour les deux plus importants d'entre eux, le zaï et les cordons pierreux (11 % à 15 %).
- Effets positifs : reconnus pour les intrants par les quatre statuts de producteurs sur les quatre plans suivants : la protection, la bonne croissance, l'humidification, la fertilisation, avec de meilleurs effets reconnus au fumier par rapport à l'engrais (25 % pour l'engrais, 46 % pour le fumier) par les femmes et par 55 % des célibataires, 57 % des chefs de ménage et 60 % des chefs d'exploitation). Parmi les effets positifs des aménagements antiérosifs sur ces mêmes sols, en termes de fertilisation et d'humidification, le zaï réalise au moins trois fois plus de rendements que les cordons pierreux (14 %, 17 % et 25 % pour les chefs de ménage et d'exploitation et les célibataires contre environ 3 % pour eux tous).

**La question de genre dans ces processus**

La question de genre est ici entendue dans le sens de la distribution des croisements en prenant en compte la différence de sexe : les analyses différenciées ont été faites aux quatre niveaux que sont le niveau de connaissance, le type de propriété, les techniques d'utilisation et la connaissance des effets des innovations culturelles.

Dans leur ensemble, se confirme une certaine unanimité des avis et des opinions des femmes avec ceux des hommes, sur ces quatre thèmes, même en faisant intervenir les variables d'ethnie, de religion, de niveau de formation, ou de catégories socio-économiques (activités secondaires pendant les deux saisons).

### **Étude sur l'« Adaptation au changement climatique pour le système hydrologique des fleuves sahéliens et des bassins versants de leurs affluents : cas de la Sirba au Burkina Faso (2005) »**

#### PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

La problématique de cette étude, centrée sur la variabilité et les changements climatiques, a une double référence :

– le constat que les productions agricoles de l'Afrique subsaharienne sont souvent insuffisantes, du fait que non seulement les outils de travail aratoire des populations sont de faibles performances, mais aussi que ces populations sont ignorantes et ne se soucient pas des besoins de conservation des eaux et des sols, ni des apports en fertilisants de ces derniers.

– quand bien même il leur arrive de parvenir à des niveaux élevés de production qui pouvaient couvrir leurs besoins d'alimentation, elles font preuve d'imprévoyance et de gaspillage dans le rythme et le niveau de consommation des productions obtenues.

Sans prétendre nier les cas de comportements isolés qui corroboreraient de telles assertions, les données livrées ici, de portée générale pour l'échantillon de populations soumises aux enquêtes, remettent fortement en cause ces préjugés.

En dépassant ces appréciations, dans un contexte de conditions physiques difficiles et de péjoration climatique, le problème est de savoir comment l'homme et la société, par leurs capacités de créativité, d'adaptabilité et d'organisation, donc d'inflexion des contraintes de la nature, de conservation et de promotion du potentiel de production, deviennent les acteurs finalement déterminants du niveau et de la qualité de ces productions, notamment par le capital de connaissances des espèces de cultures et des conditions de leur meilleure productivité.

Dès lors, peuvent se formuler les questions ci-après :

- quels sont les éléments constitutifs de ce capital ?
- à quels référents culturels, économiques, écologiques, humains se rapportent les choix qu'opère le producteur pour une campagne ou pour une culture donnée ?
- à quelles stratégies de réalisation obéissent les choix décidés ? ou quels moyens met-il en œuvre pour les réaliser ?

La méthodologie a procédé par une recherche documentaire et une collecte de données de terrain.

Pour cette dernière, l'échantillon, tout comme la zone d'étude, est très composite dans sa diversité ethnique, sociale et professionnelle : sur un effectif total de 91 personnes, sont représentés quatre groupes ethniques (Gourmantché : 32, Mossé : 52,

Peul : 5, Zaossé : 2), quatre corps de métiers, (agriculteurs : 62, agropasteurs, 24, éleveurs embouche : 4 maraîchers : 1), six statuts sociaux (chefs de village ou de clan : 39, notables : 6, responsables administratifs villageois : 11, religieux : 2, responsables d'organisations paysannes : 6, autres : 27), etc.

#### PRINCIPAUX RÉSULTATS SUR L'ADAPTATION AUX EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Ils se présentent sous l'angle des perceptions des effets de la variabilité et des changements climatiques d'une part, et des modalités de réponses qui y sont données, d'autre part.

##### *Perceptions des effets de la variabilité et des changements climatiques*

Les analyses ont d'abord repéré les perceptions des effets de la variabilité et des changements climatiques sous les aspects de rapport au climat et de rapport aux activités.

Le rapport au climat ou la perception autochtone de la variabilité et des changements climatiques est vu à travers les perceptions des incidences de la variabilité climatique, notamment celles suscitées par la sécheresse et les pluies abondantes, les problèmes alors posés et les tentatives de réponses des populations.

Les perceptions des incidences de la sécheresse et des pluies abondantes sont livrées dans le tableau ci-après.

Tableau I  
Incidences de la variabilité climatique : cas de la sécheresse.

Modalités	Effectifs	Pourcentage
Pauvreté, famine	55	60,4
Mort d'animaux	10	11,0
Dégradation de l'environnement	22	24,2
Fuite des bras valides	8	8,8
Manque de point d'eau	28	30,8
Vente d'animaux	12	13,2
Vol d'animaux	11	12,1
Coût élevé des céréales	3	3,3
Excès de chaleur	14	15,4
Maladies	28	30,8
Manque de produits de traitement	2	2,2
Insuffisance de pâturage	12	13,2
Rigidité des sols	17	18,7
Autres	3	3,3

Pour des pluies abondantes, les problèmes découlant de cette variabilité climatique sont identifiés par les populations : la famine et la pauvreté (67 %), les maladies (50 %), la désertification.

Face à toutes ces situations, quelles sont les réactions d'adaptabilité des producteurs ?

#### **Les modalités de réponses des populations**

Ces modalités comprennent les réponses directes à des incidences négatives de la variabilité climatique d'une part, et le repérage d'indices et la prise d'actions de prédiction de saison, d'autre part.

Le premier aspect est illustré par une dizaine de dispositions, dont les trois plus importantes sont la pratique des cordons pierreux et des diguettes, celle du reboisement et des fosses fumières (pour environ 40 % des répondants).

Pour renforcer davantage ces actions, les paysans mentionnent surtout la formation des groupements villageois et l'alphabétisation, l'entraide mutuelle, avec des fréquences de 21 % et 26 % respectivement. Un paysan sédentaire, membre du groupement villageois de Bilanga-Yanga nous en précise le contenu : « La formation des groupements (est faite) pour les travaux tels que les fosses fumières, les cordons pierreux. Nous avons changé de variété : auparavant, il y avait des variétés d'une durée de 120 jours ; maintenant, on sème des variétés de 60 à 70 jours ». L'étude IPGRI/*in situ*, réalisée en 2001, rapporte qu'entre 1970 (année des premières grandes sécheresses) et 2001 (année d'observation de terrain), une centaine de tentatives d'introduction de nouvelles cultures ont été réalisées dans les zones affectées, selon des stratégies basées sur le statut des acteurs sociaux qui introduisent ces cultivars, les moyens et les techniques culturelles qui les accompagnent, et les moyens organisationnels mis en place (Sawadogo, 2011b).

Font également partie de ces réponses, mais dans des fréquences moindres, le déstockage des animaux, la lutte contre les feux de brousse, la production fourragère, les sacrifices et le maraboutage.

Le second aspect concerne la capacité dont disposent les paysans d'identifier des indices de repérage, à l'avance, de la qualité bonne ou mauvaise, de la saison à venir et, le cas échéant, d'initier des actions correctives.

Ainsi, dans la Gnagna et le Gourma, les informateurs « déclarent que si des arbres tels que le karité, le néré, le jujubier produisent beaucoup de fruits, cela traduit que la saison sera bonne. Ils déplorent aussi l'absence de certains arbres qui permettaient de savoir que la saison est arrivée et qu'il faut commencer les semis. L'absence de ces arbres a fait que les paysans partent au champ comme ils veulent ».

Dans le Kourittenga sont rapportés les cas suivants :

- « Si le raisinier a produit beaucoup, la prochaine saison des pluies sera bonne » ;
- « Dans le mois de juin, si le vent souffle beaucoup vers le sud, il y aura une sécheresse » ;
- « Dans le mois de décembre ou de janvier, si le vent souffle fort vers le sud, la prochaine saison des pluies sera bonne » ;
- « Lorsque les arbres à épines ont fait beaucoup de fleurs, la prochaine saison des pluies sera bonne ».

# Vulnérabilité et capacités évolutives des sociétés africaines

## Les témoins de vulnérabilité

Les régions concernées par les trois études dont les résultats sont présentés ici relèvent toutes de sociétés dans lesquelles la sécurité alimentaire est une préoccupation permanente soit du fait de l'état avancé de dégradation écologique, soit du fait des méthodes culturelles traditionnelles peu performantes, soit du fait que les zones d'accueil de migrants n'évoluent pas rapidement vers le même état de dégradation écologique. La sous-productivité globale des systèmes de production en vigueur dans ces régions est donc le premier témoin de cette vulnérabilité des sociétés traditionnelles.

De manière générale, plusieurs auteurs des études de terroirs africains et notamment burkinabè ont, chacun selon ses formulations, relevé les caractères soit « archaïque », soit « peu évolué », soit « peu performant » du paquet technologique et des méthodes culturelles de nos sociétés : à titre illustratif, citons Michel Benoit et « Les oiseaux du mil », Georges Savonnet et les capacités d'évolution de certaines sociétés du Sud-Ouest burkinabè, etc.

Au plan des structures sociales et des types d'acteurs qui président à l'organisation de l'autorité sociale, d'autres auteurs ont également soutenu la thèse de « société bloquée » pour le cas des Moosé, où l'autoritarisme et la politique du nivellement sociétal par le bas inhibent les innovations structurelles et technologiques (cf. Sawadogo R. C., 2009).

## L'adaptabilité comme manifestation de capacités évolutives

Les innovations culturelles constatées dans les trois études présentées ici contiennent des résurgences et des revalorisations de savoirs et de savoir-faire traditionnels, tant dans le domaine des techniques agricoles que de celui de la nécessité de l'organisation du monde paysan (cas du zaï et des groupements naam).

Ces études ont également identifié les acteurs porteurs de ces innovations et même précisé les préférences des producteurs quant au mode de propriété de ces innovations et à leur circulation à l'intérieur des membres d'une exploitation familiale, tout comme au niveau de la collectivité villageoise.

Ces éléments constituent, malgré des formes de résistances toujours persistantes dans ces sociétés d'une part, et des contraintes d'ordre matériel, financier et culturel qui sont susceptibles de retarder l'accès aux équipements nécessaires d'autre part, des forces porteuses de ces innovations, donc des capacités évolutives des sociétés concernées.

Néanmoins, ces capacités évolutives requièrent, pour plus d'effectivité et d'efficience, des soutiens extérieurs multiformes toujours utiles.



## Discussions

### **Synthèse des principales formes d'adaptation aux effets des perturbations environnementales**

Les principales formes d'adaptation des producteurs aux effets des perturbations environnementales s'inscrivent, pour leur majorité, dans les trois grands domaines suivants :

- la biodiversité agricole, avec les résultats du projet IPGRI,
- la dégradation environnementale, avec ceux du projet NIRP,
- la variabilité et les changements climatiques, avec ceux du projet Sirba.

### **Discussions sur leur efficacité par la mesure de certains indicateurs**

L'évaluation de cette efficacité a été, dans le cas de l'étude NIRP, d'abord réalisée de manière qualitative, sur la base des appréciations de cette efficacité par les producteurs. Ainsi, ceux-ci témoignent de leurs connaissances des effets induits des innovations sur les sols et les plantes sur les trois plans suivants :

- la protection (résultats relativement faibles) ;
- la bonne croissance (10 % pour l'ensemble des statuts pour l'engrais et 25 % pour le fumier) ;
- le rendement élevé (5 % pour tous les statuts et pour les deux produits).

Les aménagements antiérosifs sont attributaires des mêmes effets positifs sur les cultures, sauf que la protection ne reçoit ici pratiquement pas de score, que la bonne croissance due au zaï est estimée deux fois plus faible que celle résultant des cordons pierreux (10 %), que, par contre, le rendement du zaï atteint 15 % et 18 % chez les chefs de ménage et d'exploitation, alors qu'il reste autour de 5 % pour les cordons pierreux.

Le fumier a, en plus, la particularité de permettre d'autres combinaisons d'apports positifs, il est utilisé par 36 % des femmes et 47 % des chefs d'exploitation et des célibataires.

Pour ce qui concerne les effets positifs sur les sols, deux grands apports sont relevés, autant pour l'engrais que pour le fumier :

- la fertilisation (25 % pour l'engrais, mais, pour le fumier 46 % par les femmes et 55 %, 57 % et 60 % respectivement par les célibataires, les chefs de ménage et les chefs d'exploitation) ;
- l'humidification (5 %).

Sur ces mêmes sols, les mêmes effets positifs sont reconnus aux aménagements antiérosifs :

- la fertilisation : le zaï réalise au moins trois fois plus d'appréciations positives que les cordons pierreux (14 %, 17 % et 25 % pour les chefs de ménage et d'exploitation et les célibataires contre environ 3 % pour eux tous) ;

– l’humidification : les taux sont ici deux à trois fois plus élevés que pour les intrants ; de plus, ici également, les cordons pierreux réalisent une combinaison d’effets positifs sur les sols, que ne font pas les intrants.

Enfin, le monde des producteurs étant constitué d’hommes et de femmes, terminons cet état des lieux au niveau de la gente féminine. Ici, le lien social avec le chef d’exploitation (facteur socio-démographique) et la religion (facteur socio-culturel) a servi de base pour apprécier ce niveau de connaissance des effets induits par le recours aux innovations culturelles.

Les musulmanes dans leur majorité (42,2 %) comme la majorité de la minorité catholique (40 %) identifient l’effet cumulé de la bonne croissance et du rendement élevé des plantes, tandis que la majorité des épouses de chefs d’exploitation comme de ménage optent pour la fertilisation des sols.

Au total, se confirme une certaine unanimité des avis et des opinions des femmes sur les apports des différents supports, ce qui constitue une différence notable avec les constatations souvent diversifiées faites chez les hommes des quatre groupes-cibles (chefs d’exploitation, chefs de ménage, femmes et célibataires), chacun à son niveau interne.

En plus de cette évaluation qualitative des effets réels des innovations culturelles en termes de gains mesurables, une autre étude, initiée dans le cadre du CILSS, a bénéficié de méthodes d’agronomes pour la mesure de ces gains (Bélemviré *et al.*, 2008) sur les différents niveaux suivants :

– l’analyse statistique confirme des différences significatives entre les techniques CES (Conservation des eaux et des sols) de la saison agricole 2007 et ce, par-delà les caprices pluviométriques : les gains de rendement grains sur les champs sans CES sont de 78 % pour le zaï, de 32 % pour les cordons pierreux et de 120 % pour la combinaison cordons pierreux + zaï, pour une des grappes de villages (Ranawa), les cordons pierreux ont produit un gain de rendement de 41 % et le zaï de 114 % ; dans une autre grappe de villages (Noh), les gains de rendement en grains sont de 44 % pour le zaï, 45 % pour les cordons pierreux et de 102 % pour la combinaison zaï + bandes enherbées. Les gains de rendement grains par rapport aux champs sans CES sont de 53 %, 39 % et 112 % respectivement pour le zaï, les cordons pierreux et la combinaison zaï + bandes enherbées ;

– dans le cas du recours à la fumure, cette étude montre également que ce fertilisant a un effet significatif sur le rendement : dans la grappe de Ziga, les rendements grains des champs sans fumure sont de 305 kg/ha pour le grain et de 1 257 kg/ha pour la paille. Les champs fumés avec des doses de 1 à 5 tonnes ont produit un rendement en grains de 719 kg/ha et 2 282 kg/ha de paille, soit un doublement du rendement grains par rapport aux champs non fumés ; quand la quantité de fumure dépasse 5 tonnes, ces chiffres atteignent, respectivement, 1 077 kg/ha de grains et 2 991 kg/ha de paille, doublant ainsi les rendements, d’une situation à une autre ; la proportion est de deux fois et demi dans la grappe de Ranawa ;

– portant l’exercice sur une longue période de 21 ans (de 1984 à 2004), cette étude, pour la zone sahélienne concernée (Yatenga et Bam), montre que le recours aux innovations culturelles va dans le sens d’une amélioration des rendements avec

cependant des variations importantes d'une année à l'autre : en dents de scie suivant les saisons agricoles, mais le niveau des rendements est plus élevé de nos jours que pour les années 1980 ;

– pour la sécurité alimentaire : si l'étude ne constate pas, pour celle-ci, de différence significative entre les 344 ménages avec CES et les 312 ménages sans CES (21,30 % et 21,60 % de couverture des besoins vivriers à partir de l'autoproduction) ; par contre, les villages fortement aménagés achètent moins de vivres que ceux faiblement aménagés : soit, respectivement, les quantités moyennes de 200 kg de sorgho, 30 kg de mil, 75 kg de maïs et 11 kg de niébé, contre 238 kg de sorgho, 33 kg de mil, 102 kg de maïs et 8 kg de niébé ;

– pour la conservation de l'environnement, l'effet positif des aménagements est attesté : la densité et le nombre d'espèces végétales recensées sont supérieurs dans les situations avec aménagement par rapport à celles sans aménagements.

## **Autres sujets**

### **PRÉCISIONS SUR L'IDENTITÉ DES ACTEURS SOCIAUX PORTEURS DES INNOVATIONS CULTURALES**

Les études effectuées ont identifié :

– pour les personnes physiques : les chefs de famille, en distinguant les chefs d'exploitation ou de concession ou de la grande famille d'une part et le chef de ménage, d'autre part. En ce qui concerne les autres acteurs de l'activité de production, dont les femmes et les jeunes, qui peuvent avoir leurs propres besoins, cette distinction permet de savoir qui, dans la même exploitation, s'adresse à qui pour quel besoin, d'une part ; et d'autre part (bien que les éléments n'aient pas été abordés ici), elle permet aussi d'apprécier le niveau d'adhésion aux innovations selon le statut familial de la personne qui en fait la proposition ;

– pour les structures : les organisations paysannes ont le préjugé *a priori* favorable, en tant qu'émanation du milieu des paysans et souvent leur propre création ; viennent ensuite les organisations non gouvernementales, souvent plus attentives aux doléances des populations de la base et plus promptes à y répondre.

Toutefois, les expériences diverses déjà vécues par certaines populations rurales tant du côté des organisations paysannes que des ONG, les amènent à ne donner leur confiance et leur sympathie que sur la base des actes concrets posés, répondant à leurs principes et valeurs de référence dans les rapports avec eux. Il serait utile que de telles expériences puissent faire l'objet d'échanges, de manière à permettre d'en faire, à l'avenir, l'économie.

### **FORMES PRÉFÉRENTIELLES DE PROPRIÉTÉ DES INNOVATIONS CULTURALES**

Entre les formes individuelles, familiale et communautaire de propriété des innovations culturelles, la forme familiale a été, de loin, la préférée. Viendrait en seconde position la forme communautaire, si l'on entend par là la forme collective à l'intérieur d'une organisation paysanne dont tous les membres se sont cooptés et se font mutuellement confiance.

Toutefois, certaines expériences amères des cautions solidaires dans les opérations de crédits ont dû conduire à des révisions pour des formules de constitution très restrictives (cas de la substitution des anciens groupements villageois par les groupements de producteurs cotonniers, au Burkina Faso).

De plus, il conviendrait de suivre de près l'évolution de plus en plus croissante au Burkina Faso de la propriété privée, en cours d'émergence par le fait des « nouveaux acteurs » ou de la politique de l'agro-business dans les zones rurales, mais pour lesquels des inquiétudes se manifestent (acquisition de domaines fonciers souvent importants de plusieurs centaines d'hectares, niveau de mise en valeur effective très faible, risque de prolétarianisation rapide des petits producteurs), les mesures de contrôle de tels dérapages, existantes ou envisagées, devraient être partagées.

#### **INNOVATIONS CULTURALES ET PRODUCTIVITÉ**

Les justifications par lesquelles les paysans apportent leur adhésion aux innovations culturelles mentionnent clairement l'espoir de l'élévation des rendements et de la production agricole (15 % à 25 % des paysans affirment les avoir obtenus grâce à ces innovations culturelles).

Se posent néanmoins, d'une part, le problème des conditions d'effectivité de cet objectif, tant les paramètres qui y interfèrent sont nombreux (respect strict des consignes d'application des principes de mise en œuvre de ces innovations, régularité du suivi par des personnes compétentes et disponibles, incidences des aléas pluviométriques, etc) ; d'autre part, une certaine fixation sur cet objectif peut conduire à des dérives productivistes, au mépris à la fois de la préservation et de la conservation de l'environnement et des valeurs humaines au risque de ne plus voir dans l'homme que le premier outil de la production et d'oublier toute notion de droits humains : quelles précautions peuvent en constituer des mesures préventives ?

#### **SOCIÉTÉS AFRICAINES ET ENVIRONNEMENT**

L'invite à la promotion des innovations culturelles pose le problème de la prise en compte des savoirs et savoir-faire traditionnels en matière environnementale, dont des formes de revalorisations sont susceptibles de donner de meilleurs résultats, avec moins d'effets pervers, que les produits importés (cas de fumure et des engrais chimiques). Toutefois, comme le remarque un auteur, « il ne suffit pas de recenser simplement des techniques, des comportements mystiques ou des proverbes accompagnant telle ou telle opération dans un milieu donné. Il faut un vrai travail d'analyse et de synthèse en vue d'identifier les aspects effectivement utiles... Il s'agit donc d'une double lecture du milieu physique (lecture paysanne, lecture scientifique) (Drissa Diallo, *in* Agence universitaire de la francophonie, 2004, tome 2, page 337).

De même, évoquer le problème de la conservation de l'environnement aujourd'hui en Afrique ne saurait se faire sans le situer dans le contexte de la mondialisation/globalisation : un contexte défavorable où la place au soleil se mesure à la capacité de mettre sur le marché mondial des marchandises compétitives, alors même que les pays du Nord bafouent les règles du commerce international, tout en enjoignant les pays du Sud à les respecter ; un combat périlleux où la pauvreté galopante oblige

des franges importantes des populations du Sud à recourir inconsidérément au peu de ressources naturelles de plus en plus réduites, pendant que nos richesses agricoles et minières sont bradées sans retour conséquent de devises.

C'est une invite supplémentaire à un rôle effectif de l'expertise scientifique et technique dans la recherche de stratégies éprouvées de prévention et de conservation du patrimoine écologique encore restant dans nos pays, de manière qu'à côté d'autres cadres d'actions, ce rôle contribue à un développement durable effectif de l'Afrique.

## Perspectives de recherche

Deux exemples sont présentés ici.

Projet déjà soumis à Amma Afrique :  
**« Étude sur les mesures d'adaptation des producteurs ruraux aux effets du changement climatique dans les zones d'immigration au Burkina Faso »**

Ce projet avait, en effet, d'abord été présenté à la rencontre de Amma Afrique tenue à Ouagadougou du 25 au 27 février 2009.

Lors de l'atelier de Ammanet (Abidjan, 19 au 19 mai 2010), il a été retenu dans le volet *Priorités sociétales de Ammanet* « Impacts socio-économiques, politiques publiques et stratégies d'adaptation au changement climatique », axe 2 « Dynamiques socio-économiques, perceptions du changement climatique et stratégies d'adaptation », composante 3 « Stratégies d'adaptation », sous le même titre que ci-dessus.

Durant cet atelier, les stratégies d'adaptation ont été définies comme des « réponses variées et différentes d'un contexte à un autre, pouvant prendre les formes de migrations, d'innovations dans les techniques culturelles, de transformations des habitudes alimentaires, de déplacements de zones agro-pastorales ou encore de diversifications des sources de revenus » (cf. rapport du groupe adhoc : 5).

La justification de cette composante relevait la faible mise en relief des changements climatiques dans l'explication des mobilités humaines.

Du point de vue du contexte, plusieurs études ont certes déjà abordé la thématique de l'étude, telles, par exemple : l'étude IPGRI ou *in situ* en 2001 (provinces différentes du point de vue agro-climatique : Ouahigouya, Tougouri et de Thiougou), l'étude NIRP en 2002 (provinces d'origine et destination des migrants : Yatenga et Sourou), l'étude de bassins fluviaux, Projet CILSS et Agrymet, Sirba, 2005 : adaptation climatique des producteurs des bassins fluviaux, étude pour un Sahel vert, CILSS, 2008 (volet sociologique). Dans leur ensemble, ces études ont fait le

point sur l'état de connaissance et de conscience des effets des changements climatiques exprimés par les producteurs ruraux, les réponses adaptatives qu'ils y ont apportées et leur évaluation sur les conditions d'une plus grande efficacité.

Toutefois, de nos jours, les déficits pluviométriques constatés lors de la campagne agricole 2011, s'ajoutent au taux d'accroissement annuel élevé de la population (3 % selon le RGPH 2006) et à l'insécurité de l'accueil dans les pays d'émigration traditionnelle (cf. Côte d'Ivoire), pour contribuer à alourdir davantage la pression sur les ressources naturelles (foncier et couvert végétal) et à accentuer la mobilité spatiale des populations à la recherche de contrées plus propices à leurs activités de production.

Dans un tel contexte, une connaissance toujours plus précise et actualisée des réponses adaptatives des producteurs ruraux face aux effets des changements climatiques, devient alors de plus en plus nécessaire, surtout celle des migrants, dont le déplacement est précisément lié aux effets de ces changements climatiques.

La présente recherche, qui sera conduite dans un échantillon de zones d'immigration selon leur ancienneté et leur intensité, a pour objectifs essentiels :

- évaluer le niveau des réponses adaptatives aux effets des changements climatiques,
- apprécier leur efficacité par le niveau de couverture des besoins des familles des producteurs et par le niveau de restauration des ressources naturelles (plantations, éléments déterminants des choix de cultures des campagnes agricoles, etc.)

Les principaux résultats attendus sont:

- l'éventail des réponses adaptatives des producteurs ruraux dans les zones écologiques fragilisées par les changements climatiques est connu avec plus de précision, autant dans les zones de départ des migrants que dans leurs zones d'accueil,
- les dispositions d'amélioration évolutive de ces adaptations sont connues,
- les mesures d'accompagnement de ces réponses adaptatives des producteurs, attendues de leurs partenaires au développement (services publics, ONG) sont connues.

L'étude sera réalisée, dans le cadre de notre laboratoire (Sociétés, Mobilité, Environnement), avec la contribution d'étudiants de maîtrise, sinon des doctorants du LMD, qui, par une participation active à toutes les phases de la recherche, accroîtront leurs capacités d'analyse des réponses adaptatives aux effets des changements climatiques. De même, les producteurs qui constitueront la population d'enquête, prendront davantage conscience des enjeux des changements climatiques sur leurs systèmes de production et sur leurs conditions de travail et de vie.

Nouveau projet :

### **« Suivi des populations en situation difficile au Burkina Faso »**

La présentation de ce projet se conformera également au schéma général adopté lors de l'atelier Ammanet de mai 2010 à Abidjan.

#### CONTEXTE

Le Burkina Faso, au cours de la dernière décennie, a connu une série de crises (situation du retour forcé des immigrés de Côte d'Ivoire à partir de 1999, crise

financière internationale de 2007 avec son corollaire de hausse des prix des denrées alimentaires et de dégradation des conditions de vie des ménages, et enfin inondations du 1<sup>er</sup> septembre 2009) qui ont nécessité de la part de l'État et de ses partenaires, des interventions en termes d'assistance et d'aides.

Dans les interventions initiées en faveur des personnes concernées, les structures aussi bien gouvernementales que privées distinguèrent généralement et assez rapidement, les mesures d'urgence et celles de long terme. Parmi les dernières se positionne la question de l'insertion ou de la réinsertion sociale et économique de toutes ces personnes en situation difficile, qu'il s'agisse de « rapatriées » ou de « sinistrées », dans une perspective d'« insertion » ou de « réinsertion » durable. S'il est vrai par ailleurs que des études ont déjà tenté de rendre compte de ces situations (cf. Gval de septembre 2011 et dossiers de stages de terrain de notre département de sociologie, etc.), bien des aspects demandent à être approfondis. Ainsi, peuvent se formuler les questions de recherche suivantes :

- de quoi disposaient ces personnes au début de ces situations ?
- quel accueil et quelles assistances leur ont été proposés ?
- quelle en a été l'efficacité ?
- quelles perceptions ont-elles eu de cette assistance et de son efficacité ?
- quelles perspectives se représentent-elles, à leur propre niveau et à celui des partenaires ?

#### **OBJECTIF GÉNÉRAL**

– Analyser les stratégies et les mécanismes de réinsertion sociale des personnes victimes de situations difficiles (expulsés, rapatriés, sinistrés des inondations) dans les provinces frontalières avec la Côte d'Ivoire (les quatre provinces de la Région du Sud-Ouest, les provinces de la Comoé et de la Léraba, quelques zones rurales dans lesquelles les concentrations des rapatriés et des expulsés sont les plus élevées), et les deux grandes villes du pays que sont Ouagadougou et Bobo-Dioulasso.

La perspective sociologique permet d'appréhender, tant du point de vue des victimes que de celui des structures et institutions, les représentations, les pratiques et les contraintes sociales qui conditionnent ou contrarient la réinsertion sociale des personnes victimes de ces situations difficiles au Burkina Faso.

#### **OBJECTIFS SECONDAIRES**

- Décrire les actions mises en œuvre par les différentes institutions œuvrant en faveur de ces victimes, en vue de leur réinsertion sociale et économique ;
- Cerner la perception que les victimes ont d'elles-mêmes et celle que la société a des victimes ;
- Repérer et caractériser les contraintes handicapant la réinsertion sociale et économique des personnes victimes ;
- Présenter et évaluer les initiatives prises par les personnes victimes elles-mêmes pour retrouver ou se créer une place au sein d'une société, dans la perspective d'une auto-prise en charge.

#### LES RÉSULTATS ATTENDUS

- Les actions de réinsertion sociale et économique mises en œuvre par les différentes institutions œuvrant en faveur de ces victimes sont connues ;
- La perception que les victimes ont d’elles-mêmes et celle que la société a des victimes sont connues ;
- Les contraintes handicapant la réinsertion sociale et économique des personnes victimes sont identifiées ;
- Les initiatives prises par les personnes victimes elles-mêmes pour retrouver ou se créer une place au sein d’une société, dans la perspective d’une auto-prise en charge, sont repérées ;
- L’association des étudiants de master 2 et doctorants à la réalisation de cette recherche contribuera à renforcer davantage les ressources humaines compétentes dans ce domaine de recherche.

#### STRATÉGIE DE MISE EN ŒUVRE

Dans sa stratégie de mise en œuvre, le projet réunira des chercheurs seniors et juniors du monde universitaire, d’instituts de recherche et de jeunes chercheurs (master, doctorat) du Burkina Faso et d’éventuels autres pays. Ce faisant, par cette association collaborative de chercheurs confirmés et de chercheurs plus jeunes, ce projet de recherche ambitionne de participer au renforcement des capacités de recherche des pays dont les populations se retrouvent souvent dans ces situations difficiles.

#### INSTITUT RESPONSABLE DU PROJET

Notre laboratoire de Sociétés, Mobilité et Environnement regroupe des chercheurs confirmés dans les trois domaines de son champ d’action.

## Conclusions

La présente contribution vient en complément d’une autre centrée sur l’état de connaissance de pratiques de gestion rationnelle de leur environnement par les populations des sociétés africaines. Ce fonds de patrimoine écologique apparaît comme la base sociologique préalable et nécessaire pour bâtir des stratégies actuelles efficaces de lutte contre la désertification et contre les effets des changements climatiques.

Cette contribution en poursuit le prolongement en livrant précisément un éventail de pratiques de lutte contre toutes les formes de perturbations environnementales, dont les sécheresses et les inondations, bien que phénomènes opposés, en forment les éléments constitutifs.

Tout comme l’état de connaissances, cet inventaire des expériences de formes de lutte contre les perturbations environnementales, apparemment propres aux populations



des sociétés du Burkina Faso, se veut également suggestif pour les populations des autres sociétés africaines qui composent la longue ceinture de la « grande muraille verte africaine ». Ici également, comme pour le premier thème, les deux récentes rencontres de Cotonou sont des réservoirs larges et variés, à partir desquels de nombreuses autres expériences peuvent être repérées, analysées, retenues.

Les analyses conduites ici pour discuter et conforter l'efficacité des expériences relatées pourraient également s'y retrouver.

La grande muraille verte africaine, dans ses grandes ambitions de reverdir le Sahel aride et semi-aride, devrait, en forgeant ses fondations sur de telles bases, réussir à reconstituer un espace géopolitique, non seulement de verdure retrouvée, mais aussi et surtout de contexte de construction et de reconstruction de sociétés viables, assumant leur être et leur devenir de manière plus autonome et plus souveraine.

Dans l'ensemble, des orientations à suivre pour définir des stratégies d'adaptation aux changements climatiques pourraient, dans ce contexte :

– déployer des actions d'accompagnement, de renforcement, d'amélioration de ce qui se fait déjà ou est déjà envisagé : de telles actions permettraient de consolider les niveaux de prise de conscience, de rechercher ensemble les meilleures réponses locales possibles, afin de rendre les résultats finaux encore plus performants, plus efficaces par rapport aux problèmes et aux situations à résoudre ;

– soutenir la recherche scientifique et technique pour qu'elle renforce ses capacités d'inventaires, d'analyses et d'accompagnement des stratégies de développement : ses résultats, comme outils d'aide à la prise de décisions, permettront de mieux ajuster celles-ci, pour une plus grande efficacité au bénéfice de la conservation de l'environnement et d'un développement durable à travers une sécurité alimentaire mieux assurée.

## Bibliographie

Bélemviré Adama, Maïga Alkassoum, Sawadogo Hamado, Sawadogo Moumini, Ouédraogo Souleymane  
Etude des impacts biophysiques et socio-économiques des investissements dans les actions de gestion des ressources au Nord du plateau central du Burkina Faso : CILSS, août 2008, 101 pages, version provisoire, multigr.

Burkina Faso :  
Stratégie nationale de mise en œuvre de la convention sur les changements climatiques  
Décembre 2001, 80 pages, multigr.

Burkina Faso :  
Stratégie nationale et plan d'action du Burkina Faso en matière de diversité biologique (sans date), 163 pages, multigr.

Hien Mwinbaléopouor Héliane  
Rôle social et culturel de l'artisanat face à la déforestation : cas des artisans de Ouolonkoto (Province du Houet).  
Mémoire de Maîtrise de Sociologie, Département de Sociologie, UFR Sciences Humaines, Université de Ouagadougou, année académique 2006-2007, 69 pages, multigr.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

Nikiéma Habibou

Perception des coupons alimentaires du PAM par les ménages pauvres de la ville de Ouagadougou.

Mémoire de Maîtrise de Sociologie, Département de Sociologie, UFR Sciences Humaines, Université de Ouagadougou, année académique 2010-2011, 63 pages, multigr.

Pablo Pacheco

Investissements internationaux dans l'agriculture : les impacts négatifs sont-ils plus importants que les bénéfices ? Center for International Forestry Research multigr.

Padiéne Harouna

Auto-promotion des rapatriés dans leur réinsertion socio-économique : cas de l'Association féminine Teg-Taaba pour la survie des rapatriés de Côte d'Ivoire (ATETASR).

Mémoire de Maîtrise de Sociologie, Département de Sociologie, UFR Sciences Humaines, Université de Ouagadougou, année académique 2008-2009, 92 pages et annexes pages. multigr.

Programme ACP Sciences et Technologies Perturbations environnementales et adaptation des politiques agricoles pour la sécurité alimentaire en Afrique de l'ouest. Rapport général du deuxième forum du deuxième forum régional, Cotonou, 27 au 29 septembre 2011. 31 pages, multigr.

Sawadogo, Ram Christophe

- 2011a : Expériences de capacités d'adaptation des populations Burkinabè aux effets du changement climatique et perspectives de recherches. Atelier final du Programme RIPIECSA, Cotonou (Bénin), 18 au 18 octobre 2011, 14 pages, multigr.

- 2011b : Les populations burkinabè face aux perturbations environnementales : expériences de réponses adaptatives des producteurs et questionnements sur leurs sociétés. Deuxième forum régional de « Projet de gestion et de valorisation de la recherche dans le domaine de la sécurité alimentaire en Afrique de l'ouest (GVal-Sécurité alimentaire) », Cotonou, Bénin, 27 au 27 septembre 2011, 22 pages, multigr.

- 2005 : Adaptation au changement climatique pour le système hydrologique des fleuves sahéliens et des bassins versants de leurs affluents : cas de la Sirba au Burkina Faso, 44 pages. multigr.

- 2004a : Innovations agricoles paysannes au Burkina Faso : prédominance de stratégies collectives, de leur adoption et de leur utilisation et perspectives de l'économie rurale durable : étude de cas dans les provinces du Yatenga et du Sourou Congrès AISLF, Tours, 2004, 23 pages, multigr.

- 2004b : Adaptation au changement climatique pour le système hydrologique des fleuves sahéliens et des bassins versants de leurs affluents : cas de la Sirba au Burkina Faso juillet 2004. 43 pages, multigr.

- 2002 : Les études socio-économiques de base du Projet IPGRI (IN SITU) au Burkina Faso : approche méthodologique et résultats préliminaires. Avril 2002, 36 pages. multigr.

- 1993 : Aspects sociologiques de l'éducation à l'environnement : connaissances et gestion rationnelle de l'environnement par les peuples du Burkina Faso : 37 pages, 1 tableau, 5 annexes dont 1 graphique.

Document produit dans le cadre du Programme Sahélien d'Education (PSE) pour le Séminaire de formation à l'environnement de responsables de l'enseignement secondaire et de Chefs d'établissement : Ouagadougou, 26 au 30 octobre 1992 et 4 au 18 janvier 1993, multigr.

Sawadogo (Ram Christophe) et Zongo (Mahamadou)

Les innovations culturelles comme forme de participation des producteurs à la lutte contre l'érosion et la désertification : contexte et facteurs déterminants. Contribution de l'Université de Ouagadougou à l'étude approfondie du Projet NIRP. Novembre 2002, 134 pages, multigr.

Sawadogo (Ram Christophe),

Maïga (Alkassoum), Bidima (Yamba), (sous la direction de)

Inventaire, état de la régénération naturelle et domestication des espèces ligneuses utilisées dans l'artisanat d'art dans l'ouest du Burkina Faso. Rapports de stage de terrain obligatoire rédigés par les étudiants. Année académique 2008-2009. 73 pages. multigr.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

Sawadogo (Ram Christophe),  
Maïga (Alkassoum), Ouattara (Siaka),  
Ouédraogo (Abdoulaye),  
(sous la direction de) (2009) :

- Situation socio-économique des sinistrés  
du 1<sup>er</sup> septembre 2009 et de leurs attentes  
vis-à-vis de l'Etat et de ses partenaires :  
cas de cinq sites d'hébergement (Pissy I, Pissy II,  
Hippodrome, INJPS, Samandin).  
34 pages, multigr.

- La problématique du logement des sinistrés :  
politique envisagée par l'Etat et préoccupations  
des sinistrés. 32 pages, multigr.

- La cohabitation des sinistrés  
du 1<sup>er</sup> septembre 2009 sur les sites d'accueil  
dans la ville de Ouagadougou.  
63 pages, multigr.

- La problématique de la fréquentation  
scolaire (au primaire) des enfants sinistrés  
de la ville de Ouagadougou :  
cas du site de l'hippodrome (Hamdallaye)  
et du site de l'INJEPS.  
40 pages. multigr.

Yaméogo Zoubi  
Initiative et pouvoir créateur de la femme :  
cas de l'Association féminine « Teg-Taaba »  
pour la survie des rapatriés de Côte d'Ivoire  
(A. Te. Ta.S.R.) dans l'Arrondissement  
de Sig-Noghin.  
Mémoire de Maîtrise de Sociologie,  
Département de Sociologie,  
UFR Sciences Humaines,  
Université de Ouagadougou,  
année académique 2008-2009,  
99 pages et annexes. multigr.

Zongo Anatole  
La dégradation de l'environnement :  
est-ce un effet important de la migration ?  
Etude cas du département de To  
(Province de la Sissili).  
Mémoire de Maîtrise de Sociologie,  
Département de Sociologie,  
UFR Sciences Humaines,  
Université de Ouagadougou,  
année académique 1995-1996,  
159 pages. multigr.

# Connaissance des pratiques traditionnelles de gestion de l'environnement : préalable et base sociologique de l'efficacité des stratégies actuelles de sa conservation

PROFESSEUR RAM CHRISTOPHE SAWADOGO

Sociologue  
Université Ouagadougou, Burkina Faso  
UFR – Sciences humaines – Département de sociologie

La présente contribution tire l'essentiel de sa substance de la référence suivante : « Aspects sociologiques de l'éducation à l'environnement : connaissance et gestion traditionnelles de l'environnement par les peuples du Burkina Faso ».

## Résumé

Contrairement à une certaine opinion répandue, les sociétés africaines ont une conscience claire de la fragilité de l'environnement. Leurs rapports à cet environnement sont fondés sur les références cosmogoniques des êtres et des éléments qui le constituent. Elles en assurent la protection et la sauvegarde par des pratiques séculaires.

Les stratégies officielles de conservation, de protection et de sauvegarde de l'environnement adoptent généralement des attitudes d'ignorance et/ou de distanciation vis-à-vis de ce patrimoine endogène.

Le Projet Majeur Africain de Grande Muraille Verte s'inscrit dans les perspectives d'un développement viable et durable de la région concernée. Ses stratégies de mise en œuvre doivent alors envisager et réussir une synergie d'action collaborative entre les deux catégories d'acteurs et de systèmes.

### Mots clés

ENVIRONNEMENT, SOCIÉTÉS AFRICAINES, MONDE INVISIBLE, RAPPORTS À L'ENVIRONNEMENT, GESTION RATIONNELLE, PRATIQUES TRADITIONNELLES, DÉGRADATION, PROTECTION

## Introduction

C'est depuis 1987 que suite à un sommet des chefs d'État des pays membres du Sahel, a été lancé le Programme sahélien d'éducation (PSE). Son but était de préparer les générations montantes des populations du Sahel à mieux assumer les relations de l'homme avec son environnement, dans le sens d'une meilleure protection, conservation et amélioration de celui-ci. Cet objectif devait leur permettre d'atteindre, à travers la formation, un « savoir, un savoir-faire et un savoir-être » qui leur permettent de tirer le meilleur parti de leur environnement (PSE, 1987, page 4).

De nos jours sont nombreuses les initiatives de mobilisation de ressources et d'acteurs pour la lutte contre la dégradation de l'environnement, la désertification, les effets des changements climatiques. Ainsi, à titre illustratif, beaucoup de gouvernements de l'Afrique subsaharienne, accompagnés et soutenus par les décisions et recommandations des conférences internationales (Stockholm en 1972, Rio en 1992, Copenhague en 2009, Durban en 2011), disposent d'institutions de haut niveau, en charge de cette préoccupation : le ministère de l'Environnement et du Développement durable du Burkina Faso vient de tenir, les 27 et 28 octobre 2011, un colloque international au titre évocateur et significatif : « Pour un développement créatif et durable : déchets et énergies, énergies renouvelables et collectivités locales ».

Comme l'évoque le dernier élément du titre de ce colloque, certaines de ces initiatives se soucient de la participation des populations.

Toutefois, se préoccupe-t-on toujours de connaître l'héritage de pratiques de conservation, de préservation sinon de promotion de l'environnement par les populations ? Leurs pratiques et leurs stratégies en la matière ?

Bien qu'un nombre important d'études et de recherches aient déjà été réalisées sur ce sujet, la prise en compte de ces savoirs endogènes est encore insuffisante.

Le projet de la « Grande Muraille Verte » postule, à juste titre, l'existence d'un « important potentiel de développement » à travers un « important savoir traditionnel, endogène qui a permis aux populations endogènes de lutter et de développer à travers des décennies une forme de résilience face aux perturbations environnementales » (document du projet d'ouvrage GMV, 2011 : 1). La présente contribution se propose d'en apporter une illustration à travers des expériences de pratiques et des comportements qui témoignent de cette reconnaissance, par les populations rurales, de la fragilité de leur écosystème, de la nécessité d'en préserver la conservation et d'en promouvoir la valorisation.

Les expériences sont celles des populations du Burkina Faso, repérées et consignées lors de plusieurs recherches des années 1980, 1990 et 2000. Toutefois, les expériences similaires pratiquées par les populations d'autres pays sont évoquées chaque fois que de besoin.

Cette contribution présente d'abord deux éléments consubstantiels au rapport des populations africaines à l'environnement : une certaine conception de ses composantes et les perceptions et représentations qu'elles s'en font, tous constituant les fondements

de leurs comportements vis-à-vis de l'environnement. Sont ensuite abordées les pratiques de sa gestion rationnelle et les formes de lutte contre la désertification et contre les effets des changements climatiques.

Sont enfin esquissées les formes de collaboration et d'harmonisation souhaitables entre pratiques traditionnelles et stratégies actuelles de lutte contre la désertification et contre les effets des changements climatiques.

## Appréhension de l'environnement par les populations africaines : présence du monde invisible indissociable

Pendant longtemps, la littérature disponible relative à l'environnement a été largement dominée par les études, les recherches et les analyses de botanistes, de forestiers, de géographes. Il en est ainsi depuis les auteurs les plus anciens (R. P Sébix qui dès 1889, fit ses premières observations sur le Sénégal ; Aubreville, Inspecteur général des Eaux et Forêts des colonies et son ouvrage *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale* de 1949 ; le Professeur Auguste Chevalier et ses nombreuses communications à l'Académie des sciences en France, dans les années 1950, etc.).

L'on constate ainsi que les définitions proposées sur l'environnement ont ce trait commun qu'elles appréhendent presque uniquement le monde visible dans ses différentes composantes physiques, chimiques, biologiques. Même lorsqu'elles font une place aux facteurs humains et sociaux, ces derniers se réfèrent surtout aux actes concrets que les hommes posent avec ou sur leur environnement. Ceci est illustré dans les deux définitions suivantes :

– pour le Conseil international de la langue française, « l'environnement est l'ensemble, à un moment donné, des agents physiques, chimiques, biologiques et des facteurs sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect immédiat ou à terme, sur les êtres vivants et les activités humaines » ;

– pour Aubreville, « la protection de la nature dans son ensemble, c'est la protection du milieu dans lequel vit l'humanité africaine, c'est-à-dire les sols qu'elle cultive, les eaux sont indispensables à la vie, celles qui viennent du ciel sous forme de pluies, celle du sol et des rivières et enfin... La couverture végétale spontanée qui est la protection principale des sols et des eaux ».

Or, sous l'angle sociologique ou anthropologique (au sens large de ce dernier terme), aucun auteur sérieux ne définit une société, un groupe humain ayant à la fois son histoire et son organisation spatiale donnée, en l'amputant de son monde invisible, c'est-à-dire le monde des ancêtres des hommes et celui des esprits et divinités qu'ils

ont adorés et vénèrent toujours : la place de cette partie de l'humanité me semble importante pour l'appréhension complète de l'environnement, pour au moins deux raisons :

– les divinités et les ancêtres constituent le registre de référence des valeurs de comportement d'individus et des groupes sociaux, dans beaucoup d'aspects de leur vie quotidienne et parmi ces aspects, figurent les éléments physiques de l'environnement ;

– les divinités, tout comme les esprits des ancêtres, possèdent, dans l'imaginaire des individus et des groupes sociaux, des habitacles physiques précis, identifiés et localisés, objets d'une réticence d'accès ou d'actes pouvant être considérés comme des agressions punissables. De cette réticence de certains comportements des hommes et des groupes sociaux tient le caractère sacré qui entoure ces habitacles et qui impose respect.

Ainsi ont été conservés, contre souvent le désir de tel groupe social ou de telle autorité administrative, des bois sacrés, des arbres sacrés, des espèces sacrées, etc., ou ont été bloquées des actions publiques, par exemple de lotissements ou d'ouverture de voies (à Ouagadougou : mosquée de la place de la gare conservée, dans la région de Yako : le panthéon de Pilimpiku et la déviation de routes de la région, ou encore ailleurs : les sites sacrés et les renoncements à telle ou telle réalisation : forage, construction, etc.). À l'inverse, des révélations de consultations des forces invisibles ont pu conduire à des destructions d'éléments de la nature, ou à des expulsions de l'espace d'habitation et de circulation des hommes (exemple des sorciers et sorcières), etc.

Parce que ce monde des forces invisibles induit donc le comportement des hommes et des groupes sociaux vis-à-vis de certains éléments de l'environnement, de façon permanente ou ponctuelle, il me semble utile de les inclure dans l'appréhension du fait environnemental.

L'esprit cartésien s'indignera certainement de cette proposition. Cependant, la sociologie religieuse et celle politique montrent à souhait comment la dimension de l'invisible est omniprésente dans la vie des hommes, qu'ils soient d'hier ou d'aujourd'hui, qu'ils relèvent de sociétés arbitrairement et idéologiquement séparées en « traditionnelles » et « modernes » : la voyance est bien présente aujourd'hui en Europe et en Afrique, les projets de développement échoués comme signalés ci-dessus, parce que s'étant heurtés à ce domaine, sont bien connus.

La reconnaissance de la place des forces du monde invisible permettra, au contraire, une bien meilleure stratégie d'approche du problème de l'environnement, chaque fois que cela sera nécessaire. Elle préviendra les réticences de tous genres et facilitera davantage la réalisation d'actions jugées utiles à la sauvegarde et à l'amélioration de la partie physique de l'environnement.

Au demeurant, cette dimension de la partie invisible de l'environnement n'est pas absente des perceptions et des représentations que s'en font les individus et les groupes sociaux. Ces perceptions et ces représentations informent à leur tour des rapports des hommes et des groupes sociaux avec leur environnement.

# Perceptions et représentations de l'environnement : fondements des facteurs anthropiques

Il est bien connu que les facteurs de modification de l'environnement se classent en deux grands groupes : les uns, abiotiques, liés au milieu physique et les autres biotiques, liés à celui des êtres vivants, dont l'homme.

Les facteurs liés à l'homme et à ses actions, individuelles ou collectives, dénommés anthropiques, sont ceux qui nous intéressent ici.

Avant d'en examiner les formes, certainement variées, il nous semble important d'en rechercher d'abord les fondements.

## **L'environnement : objet de rapports spécifiques selon les types de sociétés**

Les perceptions et les représentations, ici, sont les formes conscientes dans lesquelles les éléments de l'environnement apparaissent aux hommes et les idées, images, figures, signes ou symboles que ceux-ci s'en font.

Les facteurs anthropiques ci-dessous évoqués sont en fait les différentes formes de rapports, que les hommes initient avec leur environnement, en tant que cadre de leur vie, formes d'expression des différents besoins des hommes, dont ceux-ci recherchent la satisfaction auprès de leur cadre de vie.

On peut regrouper ces différents besoins autour des principaux axes ci-après :

- l'habitat ;
- la production des biens de l'existence biologique ;
- l'organisation sociale ;
- la vie spirituelle.

Par rapport à chacun de ces axes, les sociétés humaines ont établi des rapports différents avec l'environnement qui ont été à la base de la classification des types de sociétés par rapport à tel ou tel repère.

### **PAR RAPPORT À L'HABITAT**

– Les sociétés à habitat dispersé : sans qu'il y ait un seuil de distance établi à cet effet, ce genre d'habitat laisse assez d'espace entre les unités d'habitation, ce qui permet par exemple à chaque unité de déployer ses activités de production autour de son habitation, donc d'être pratiquement le seul gérant de l'environnement autour de cette habitation et donc de répondre seul de l'état de son évolution.

– Les sociétés à habitat concentré ont la pratique inverse.

– Des sociétés se situent entre ces deux grands types et reçoivent les appellations de sociétés à habitat semi-dispersé, semi-concentrique, etc.

Dans le cas du Burkina Faso, les exemples peuvent être cités pour les localités de Tanghin-Dassouri, Houndé, Tougan, Djibo, Garango : habitées majoritairement



(du moins traditionnellement), par, respectivement les Moose, les Bwaba, les Samos, les Fulbé et les Bisa, les habitats étaient classés comme dispersés pour les Moose, les Fulbe et les Bisa, mais concentrés pour les Bwaba et les Sana.

Cependant, ces types ont, de nos jours, subi beaucoup d'altérations dans l'un comme dans l'autre cas, en raison de l'évolution de divers facteurs conditionnant la vie ou l'activité de production des groupes sociaux concernés : par exemple, les Moose dans les plaines aménagées où l'autorité a décidé que les zones d'habitat seraient regroupées d'un côté, les zones de culture de l'autre. Il en est de même chez des Fulbe et des Bwaba qui se retrouveraient dans les mêmes zones ou dans les villes : là aussi, la mise à disposition du cadre de vie ne relève plus des anciens canons de décision.

#### **PAR RAPPORT AUX ACTIVITÉS DE PRODUCTION ET À L'ORGANISATION SOCIALE**

Les sociétés humaines sont classées en types selon l'activité dominante ou selon le moyen de travail le plus utilisé, ou encore selon le type d'organisation sociale qui préside aux conditions de la production des biens matériels de l'existence biologique.

Ainsi dans le contexte du Burkina Faso, on peut distinguer :

- les sociétés agraires opposées aux sociétés pastorales ;
- les sociétés à pouvoir politique centralisé opposées aux sociétés acéphales ou segmentaires (aujourd'hui qualifiées d'intermédiaires : P. C. Hien et M. Gomgnibou, 2009).

Les groupes sociaux majoritaires de nos cinq zones expérimentales appartiennent aux types :

- agraire et à pouvoir politique centralisé (Moose et Bisa) ;
- agraire et intermédiaire (Bwaba, Sana) ;
- pastorale et à pouvoir politique centralisé (Fulbe).

Comme on le constate, chaque société humaine donnée relève de plusieurs types de classification selon le critère utilisé, ce qui en fait varier leurs regroupements.

Pour notre présent propos, rapprochons les différentes typologies pour chacune des sociétés prises en exemple, de manière à voir le type de rapport à l'environnement qui y prédomine.

*Tableau de synthèse des classifications.*

Groupes sociaux	Habitat		Production		Organisation sociale	
	Dispersé	Concentré	Agraire	Pastorale	Centralisée	Segmentaire
Moose	+		+		+	
Bisa	+		+		+	
Fulbe	+			+	+	
Sana			+			+
Bwaba			+			

Selon cette synthèse, les types d'habitat et d'organisation sociale semblent se correspondre, donc induire les mêmes types de rapports à l'espace.

Cependant, l'observation quotidienne des hommes laisse penser que c'est dans le cadre de leurs activités de production des biens matériels qu'ils ont les rapports les plus fréquents avec leur environnement. Dans le cas du Burkina Faso, les zones de dégradation écologique plus prononcée se retrouvent dans l'aire d'habitat traditionnel des Fulbé, puis des Moose, bien qu'ils diffèrent par leur type de production. Au contraire, l'aire d'habitat traditionnel des Bwaba et des Samos est moins dégradée bien qu'ils partagent le même type d'activités de subsistance. Cela nous conduit à penser que ces mises en rapport doivent être encore mieux précisées soit en introduisant d'autres types de classement dans l'habitat (par exemple, taux d'occupation humaine dans l'espace dans une aire donnée) ou dans la production (par exemple, type d'outil de travail), soit en recherchant l'incidence relative des facteurs abiotiques (nature des sols, évolution des cycles pluviométriques), etc.

Dans tous les cas, pour les facteurs anthropologiques, leurs expressions, c'est-à-dire les formes qu'ils prennent, sont fonction des prestations et des représentations que les hommes se font de leur environnement.

### **Les perceptions et les représentations : fondement des rapports avec l'environnement**

Les perceptions et représentations du cadre de vie des hommes s'énoncent, dans nos sociétés, d'abord en vision du monde et ensuite en symboles.

#### LA VISION BIPOLAIRE DU MONDE

La vision du monde est bipolaire :

- le monde visible, avec ses éléments abiotiques et biotiques, y compris l'homme lui-même ;
- le monde invisible, constitué des mânes des ancêtres, des esprits et des divinités : les uns bienveillants envers l'homme, les autres malveillants, mais tous susceptibles de modifier leurs attitudes envers lui selon ses comportements à leur égard. Ainsi, un sacrifice peut réparer une offense et éviter les sévices qui auraient pu survenir. Dans le domaine de l'environnement, les peuples de la province de la Kossi, par exemple, connaissent l'interdiction des relations sexuelles en brousse. Dans le cas où elles surviennent néanmoins, la réparation se fait par un attouchement des organes coupables au feu ou par un sacrifice à base d'une somme ou d'animaux domestiques. De même, un autre sacrifice peut gratifier l'officiant de bienveillances diverses qui rendent plus facile la réalisation d'un vœu, ou décuplent l'effet bénéfique d'une action : ainsi procède-t-on pour assurer la fécondité d'une femme, obtenir les bonnes récoltes d'une saison agricole, la bonne marche d'un commerce, etc.

Ce qui importe, ici, est la croyance que les éléments du monde invisible ont des pouvoirs très étendus sur les humains et sur l'efficacité de leurs activités et avec lesquels ceux-ci doivent se concilier grâce aux sacrifices : les éléments de ce monde invisible ont des espaces d'évolution ou des habitacles précis (bosquets et bois

sacrés, clairières hantées, arbres sacrés, etc.), sur lesquels l'homme doit s'abstenir de certaines formes d'action : ainsi sont nés les interdits et les tabous, ayant pour contenu les prescriptions de faire ou de ne pas faire, c'est-à-dire réglementant les comportements et les attitudes des hommes envers des éléments de l'environnement. C'est en tant que facteur modulant ces comportements des hommes que ce monde invisible mérite sa mention dans l'appréhension de l'environnement et dans les stratégies d'actions sur l'environnement.

**LES PERCEPTIONS INDIVIDUALISÉES DES ÉLÉMENTS ET LEURS SYMBOLES :  
TÉMOINS DE LA CONNAISSANCE  
ET FONDEMENTS DES RAPPORTS AVEC L'ENVIRONNEMENT**

Les perceptions s'expriment sur deux plans : la dénomination et les symboles qu'elle véhicule.

***La dénomination***

La dénomination des éléments de l'environnement est la première forme de conscience de leur existence : le fait de nommer indique que le sujet qui nomme a une idée de ce qui est nommé.

C'est ici le premier niveau par lequel l'homme des sociétés traditionnelles relève le défi de l'un des préjugés que lui attribuent le plus souvent les intellectuels du savoir cartésien, à savoir qu'il est très souvent taxé d'ignorant.

Le deuxième niveau de sa connaissance des éléments constitutifs de son environnement se révèle à travers la symbolique des dénominations attribuées.

***La symbolique des dénominations des éléments***

Elle est faite selon deux références :

- ou bien en rapport avec d'autres éléments de l'environnement, pour traduire une qualité différente, ou opposée, un rapport d'interaction, d'interférence : nous en verrons des exemples dans le domaine des sols notamment plus pauvres, plus riches ;
- ou bien en rapport avec le monde invisible, au regard de l'esprit ou de la divinité dont l'élément est censé être l'habitable et donc au regard des prescriptions positives ou négatives imparties aux hommes en raison de l'identité de l'esprit. Des exemples en seront également donnés dans plusieurs domaines.

Toutefois, c'est certainement en raison de cette référence que certaines formes traditionnelles de gestion de l'environnement diffèrent le plus de celles qu'aurait adoptées un esprit cartésien. Ainsi par exemple, Robert Delavignette a pu apprécier en des termes aussi cocasses le fait d'utiliser la bête, non comme animal de trait dans l'agriculture, mais plutôt comme objet de sacrifice : il disait : « Pour l'agriculteur africain, l'animal utile n'est pas la bête qui tire, mais celle qu'on abat pour savoir si le champ a été bien choisi » !

Enfin, il convient de relever que les perceptions et représentations des éléments de l'environnement se réfèrent aux types de sociétés selon les critères de classification ci-dessus évoqués.

C'est en fonction de ces références que sont organisées la gestion de l'environnement ainsi que, lorsque la situation l'exige, les formes de lutte contre sa dégradation.

# Gestion de l'environnement : pratiques traditionnelles de sa protection et stratégies de lutte contre sa dégradation

Contrairement à l'opinion généralement répandue, plusieurs recherches déjà effectuées témoignent d'un niveau de connaissance très élevé des éléments constitutifs de l'environnement par les populations des sociétés traditionnelles et de leur gestion rigoureusement organisée, en fonction des particularités spécifiques des sociétés et des symboliques ci-dessus précisées.

Les présentations qui suivent en donneront des illustrations et poseront une double question quelque peu préjudicielle : ces pratiques traditionnelles sont-elles prises en compte par les stratégies officielles étatiques et autres de lutte contre la dégradation de l'environnement ? Si oui, comment ? Si non, pourquoi et que faire ?

## **Conscience de la fragilité de l'environnement et pratiques de sa gestion rationnelle**

Dans le cas du Burkina Faso, deux exemples devenus classiques illustrent à la fois la connaissance des éléments constitutifs de l'environnement, la fragilité de celui-ci et la nécessité d'en faire une gestion rationnelle.

Le premier est constitué par les résultats de l'étude faite au village fulani de Sambo Na'i (14°8 N et 0°3 E), situé près de Dori, dans la province du Seno.

La recherche de terrain y a décelé trois axes de connaissance et de gestion de l'environnement par les populations.

- L'inscription spatiale des groupes humains et leur conception de l'organisation territoriale : avec l'opposition village/brousse, espace agricole/espace pastoral, espace habité/espace non habité.
- La perception du temps et son découpage en saisons, dont la dénomination se réfère à des critères climatiques (température et humidité) et qui rythme les différents types d'activités :
  - *Dabbunde* : saison sèche froide ;
  - *Ceeedu* : saison sèche chaude ;
  - *N'dumngu* : saison des pluies ;
  - *Yaande* : temps des récoltes.
- La perception des sols, des points d'eau, de la végétation dont les dénominations renvoient au taux de recouvrement végétal et aux espèces dominantes :
  - *Bolaare* : terre argileuse, couverte de 80 à 100 % d'une herbacée (*Panicum laetum*) et dominée au niveau arbustif par l'*Acacia seyal* et l'*Acacia sénégale* : c'est un espace réservé au pâturage ;
  - *Senno* : accumulation sableuse d'épandage ou de dune : herbacées : *ceucheus biflorus*, *cram cram*, *andropogon gayanus* ; arbustes : *combretum gluturosom*, *bacitrinua rufescens* ; c'est le seul milieu cultivé avec l'illier et dont les phases d'érosion sont suivies de près par les Fulbe ;

- *Kollangal* : sol fortement érodé, ne porte aucune culture, pâturage maigre ;
- *Goru'ol* : axe de drainage principal ;
- *Ceekol* : marigot ;
- *Yaayre et weendu* : grandes mares.

Le deuxième exemple de connaissance et de gestion rationnelle de l'environnement est celui des populations moose de la province du Bam, chez lesquelles intervient le Projet d'aménagement des terroirs et conservation des ressources dans le plateau central (Patecore). Des études de toposéquences ont identifié, de façon précise, les dénominations des différents types de sols et de relief, leurs caractéristiques physico-chimiques, les types de végétation herbacée et/ou arbustive dominante, l'utilisation agropastorale qui en est faite ainsi que la localisation préférentielle des sites d'habitat par rapport à ces sols : le tableau de l'annexe 1 en présente la synthèse.

Les deux exemples, donnés ici à titre illustratif, sont loin d'être des cas exceptionnels : les autres régions du Burkina Faso en fournissent également.

Dans le cas des Moose, l'ex. AVV (Autorité des aménagements des vallées des Volta) avait édité un calendrier grégorien, avec les mois en *moore* : toutes les dénominations des mois se référaient explicitement au temps et à ses relations avec le cycle des activités agricoles, les caractéristiques et les niveaux de la température, etc.

Dans le domaine de l'artisanat d'art, sont nombreuses les études et les recherches (H. Hien : 2010, D. Ido : 2010, M. Ido : 2010) qui ont montré que, dans les régions qui pratiquent cette activité, des règles traditionnelles précises codifient celle-ci, en vue d'assurer la préservation et la régénération des ligneux. Cette réglementation intervient pour les moments de prélèvement des espèces d'arbres, les modes recommandés de prélèvement, la pratique des espèces interdites et totémiques. Ainsi :

– l'autorisation de faire les prélèvements est donnée pour la saison sèche, la saison hivernale est interdite de tout prélèvement. L'autorisation de coupe part du mois de novembre et est précédée de rituels autorisant la consommation du nouveau mil par les autorités villageoises. La coupe du bois en hivernage entraînant la destruction des récoltes par les vents, le contrevenant est convoqué et encourt une amende par la cour de justice « Kondugu » en guise de réparation ;

– de même, des intervalles assez longs (pouvant atteindre 40 ans dans certaines zones) sont observés dans le cas du prélèvement de certains arbres intervenant dans la fabrication de masques, de manière à permettre la régénérescence des espèces concernées ;

– le mode de coupe prend en compte l'espacement des arbres (par exemple, un sur deux ou trois), la taille et la capacité de régénération de l'arbre (les petits arbres sont épargnés et la coupe laisse à l'arbre la possibilité de faire des repousses. Kéré (2010) nous rapporte la manière dont l'artisan de l'ethnie samo s'assure que les autorités coutumières agréent la coupe d'un arbre pour les masques : l'artisan implante sa hache dans l'arbre et rentre au village. Le lendemain si la hache est toujours implantée dans l'arbre, cela signifie que ce dernier accepte de se sacrifier. C'est seulement à ce moment-là qu'il est coupé. Dans le cas contraire, le sculpteur ramasse sa hache

et les autorités choisissent à nouveau un autre arbre en respectant toujours la même procédure ;

– enfin, des espèces sont pratiquement interdites de coupe : elles sont, dans la majorité des cas, soit des espèces totémiques, mythiques dont un groupe social s'interdit toute coupe, soit des espèces utilitaires intervenant dans le domaine alimentaire (consommation de feuilles, fruits, graines, amandes) et/ou médical (écorces, feuilles, racines), dont l'interdiction en permet la préservation et la perpétuation, soit encore des espèces situées sur les sites sacrés, porteuses de l'esprit de protection de la collectivité et pouvant être des lieux de refuge pour l'homme en cas de danger : pour la zone de Bobo-Dioulasso, l'annexe 2 nous en livre un tableau indicatif. Les arbres des lieux de cultes, de sacrifices, habitacles des génies, relèvent naturellement de cette catégorie.

Au-delà des frontières du Burkina Faso, nous avons déjà noté la bibliographie générale de Dominique Juhé-Beaulaton sur les références relatives aux trois pays du Bénin, du Burkina Faso et du Togo. De même, bien d'autres auteurs ont réalisé des études et des recherches similaires pour d'autres pays concernés par le projet de la muraille verte (Sénégal, Mali, Ghana, etc.).

Dans l'ensemble et comme cela a été dit, l'on constate que cette gestion de l'environnement, qui part de l'identification des éléments, de leurs caractéristiques et de leurs symboliques, se réfère aux grands axes d'organisation des sociétés, en vue de répondre à leurs besoins d'habitat, de production de biens de subsistance ; tout en accordant à la dimension symbolique toute sa place dans le rapport de l'homme à l'environnement.

### **Les formes traditionnelles de protection et de lutte contre la dégradation de l'environnement : la question de leur efficacité et les perspectives**

Dans le contexte actuel de dégradation écologique accélérée nécessitant les actions énergiques de réhabilitation de notre environnement, le paragraphe précédent, comme celui-ci, n'a aucun esprit thuriféraire, tendant à ne voir que des aspects positifs dans les rapports homme/environnement dans nos sociétés traditionnelles. Cependant, les mêmes présentations entendent également s'élever contre les négations systématiques de l'existence de quelque rapport positif entre l'homme de nos sociétés traditionnelles et son environnement.

C'est dans cette perspective de recherche que nous partageons ici les analyses critiques sur les positions et stratégies de lutte contre la désertification et contre les effets des changements climatiques qui négligent sinon excluent de prendre en compte le patrimoine de savoirs, de savoir-faire et de savoir-être des populations africaines en rapport avec leur environnement : Guillaume Lecuyer (sd), Philippe Méral, Denis Requier-Desjardins (2006) et Jacques Weber (1995) en font des présentations suffisamment illustratives. Ici, référons-nous à la précaution prise par notre collègue Bognounou dans une présentation de 1991 fort à propos : il a listé d'abord les critères d'efficacité aujourd'hui reconnus en la matière et a ensuite invité le lecteur à apprécier les pratiques traditionnelles en conséquence.

Les neuf critères, identifiés par le Regular Information System on Environment and Development (RISED) et rapportés par Bognounou (1991 : 7), sont les suivants :

- absence de substances toxiques ;
- absence de vecteurs de maladies ;
- sol fertile et stable ;
- climat favorable à l'agriculture, aux autres activités, agréable et sain ;
- conservation des ressources génétiques ;
- conservation des ressources cynégétiques, halieutiques ou de cueillette ;
- environnement correspondant aux désirs et aux aptitudes des populations à le gérer ;
- maintien des processus régulateurs.

Les mesures traditionnelles de protection et de lutte contre la dégradation de l'environnement, également déjà listées dans la même référence, sont les suivantes :

- les techniques de lutte antiérosive : culture en terrasse, technique du zaï ;
- les techniques de lutte contre le ruissellement : billions, buttes ;
- la préservation, dans les champs de culture, d'espèces à usages multiples : néré, *Acacia albida*, karité ;
- la pratique de jachères de longue durée, lorsque les réserves foncières le permettent ;
- la préservation des bois sacrés ;
- la protection d'espèces végétales et animales de valeur totémique et culturelle ;
- certaines techniques d'assainissement : le *tampouré* chez les Moose ;
- la pratique de techniques de fertilisation et de régénérescence des sols : fumure organique et animale, empaillage avec les chaumes des récoltes ou les bottes d'herbes transportées, etc.

Ces différentes techniques, de même que l'utilisation différentielle des toposéquences mentionnées ci-dessus, confirment donc le souci de l'homme des sociétés traditionnelles à obtenir le rapport le moins agressif possible, ou les thérapies qu'il a utilisées pour atténuer les effets négatifs d'autres pratiques.

L'on peut alors s'étonner du grave état actuel de dégradation de notre environnement.

Les trois paragraphes qui suivent vont, le premier, confirmer l'image de forte dégradation à travers l'historique des sécheresses, le deuxième, évaluer l'efficacité des formes traditionnelles de lutte contre cette dégradation, le troisième, envisager les formes de collaboration nécessaire entre le patrimoine endogène et les stratégies officielles.

### **Forte dégradation écologique : entre facteurs anthropiques et facteurs abiotiques**

La forte dégradation de l'environnement dans la zone sahélienne, dont fait partie le Burkina Faso, peut être illustrée par la succession des sécheresses et des campagnes agricoles déficitaires dont certaines études et recherches établissent le bilan. Dans le cas du Burkina Faso, deux sources permettent d'établir la chronologie des grandes crises écologiques que représentent les sécheresses :

- La première source, à notre connaissance, ne couvre malheureusement qu'une seule région du Burkina Faso, à savoir le Yatenga, mais reste très documentée. C'est

la monographie du géographe français Jean-Yves Marchal, intitulée : *Récoltes et disettes en zone nord-soudanienne. Chronique des saisons agricoles au Yatenga (Haute-Volta) 1907-1973*. Orstom, section de géographie, mai 1974.

– La deuxième source, beaucoup plus récente, couvre tout le Burkina Faso et l'ensemble du Sahel. Elle a été réalisée en 1986 par D. Steve Sepp : *Réflexions sur l'arbre et les formations ligneuses au Sahel burkinabè*. Ministère de l'Environnement et du Tourisme. Division de l'Environnement. Burkina Faso/GTZ.

Selon la monographie de Marchal, qui couvre une période de 67 années :

- seulement 20 années ont été qualifiées de très bonnes ;
- 19 ont été bonnes ;
- 11 ont été médiocres : 1909, 1910, 1911, 1921, 1928, 1947, 1956, 1961, 1968, 1969 (et ?) ;
- 6 ont été mauvaises : 1909, 1925, 1962, 1966, 1967, 1933 ;
- 13 ont été très mauvaises : 1914, 1926, 1929, 1930, 1934, 1940, 1941, 1942, 1970, 1971, 1972, 1973 (et ?).

Parmi ces 13 dernières, certaines ont été suivies de famines, particulièrement graves : 1914 et 1930.

Auparavant, les périodes de 1831-1834 et 1879-1901 auraient également été marquées par des pénuries très graves, ce qui fit dire au géographe que « l'équilibre que le travail des champs, la paix et les fluctuations des pluies instaurent entre les ressources et les besoins des populations a toujours été précaire et souvent rompu » (page 7).

Selon les données livrées par l'auteur, les pénuries alimentaires n'ont pas toujours été causées par le déficit pluviométrique, mais plus souvent par d'autres facteurs, tels les tornades violentes (1913), les invasions acridiennes (1920 avec 80 % des récoltes perdues, 1930, 1933, 1941, 1942) ou des chenilles (1930, 1966). Signalons également la non-prise en compte explicite du contexte politique colonial de l'époque qui conduit l'auteur à évoquer une « économie agraire en sursis », dans cette sphère des « tropiques abandonnés », en proclamant « qu'il ne paraît plus temps de songer à un développement possible du Yatenga, mais seulement de tenter de ralentir le processus de dégradation des conditions de vie des paysans... » (page 65).

La deuxième source, l'étude de Steve, mentionne, entre le début du siècle et la période de 1986, les périodes de sécheresse suivantes :

- 1911-1913 ;
- 1938-1941 : sécheresse très sévère dans le moyen et le Sud-Oudalan ;
- 1977-1985.

Comme on l'aura constaté, les crises écologiques, dont la sécheresse est l'une des manifestations les plus préjudiciables à la vie des êtres vivants, dont l'homme, ne datent pas d'aujourd'hui, dans l'écosystème régional sahélien. Quels rôles respectifs entre les facteurs anthropiques et ceux abiotiques ?

Selon les spécialistes des études relatives à l'écosystème, les deux grands types intervenant dans les modifications des écosystèmes sont les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques, parmi lesquels figurent ceux anthropiques, résultant des actions



de l'homme. Par ailleurs, il conviendrait de pouvoir définir les plus déterminants entre les facteurs abiotiques et anthropiques d'une part, et d'autre part d'identifier les éléments qui composent les facteurs anthropiques et enfin de rechercher parmi eux ceux qui sont les plus caractéristiques.

Dans le rapport facteurs abiotiques et facteurs anthropiques, Duvigneaud déclarait dès 1965 que « La désertification est souvent le fait de l'homme et non celui du climat ; et on peut parler de faux déserts lorsque l'aridité est le résultat d'une destruction des moyens d'irrigation, d'un déboisement généralisé, ou de l'action des feux et des troupeaux ».

En réalité, rien n'est tranché puisque le problème est précisément de savoir, dans une situation donnée, quelle est la part de l'homme et quelle est celle du climat. La question mérite d'autant plus d'être posée qu'hier comme aujourd'hui, nous constatons qu'à des saisons déficitaires succèdent des saisons excédentaires avec abondance de récoltes, alors que, dans le laps de temps, il est difficile d'identifier des changements importants dans le comportement des hommes.

Toutefois, nous sommes d'accord avec notre collègue Bognounou et d'autres chercheurs pour dire que, dans nos écosystèmes, l'homme demeure l'animal le plus doué de raison, capable donc de forger son devenir en domptant les contrariétés de la nature, il lui appartient toujours de trouver et d'imaginer les mesures correctives face à la dégradation de son environnement.

Aussi convient-il d'examiner celles de ses actions qui détruisent cet environnement.

Selon les synthèses les plus récentes sur le sujet (E. G. Bonkoungou, 1985, cité par Bognounou, 1989), les quatre grandes causes de dégradations écologiques au Burkina Faso sont :

- les défrichements agricoles ;
- la crise énergétique du bois de chauffe ;
- le surpâturage ;
- les feux de brousse.

À ces facteurs, le Plan national de lutte contre la désertification, élaboré en 1986, a ajouté le phénomène migratoire, en raison des densités particulièrement élevées dans certaines régions, des départs forcés massifs qui en résultent, suivis de leurs effets dans les régions d'accueil. Cependant, lorsqu'on sait que ce qui, dans les zones d'accueil, agresse le plus l'écologie, est constitué par les activités agricoles et pastorales, l'on peut inclure ce nouvel élément dans les défrichements agricoles et dans le surpâturage.

Quant au niveau des conséquences respectives de ces facteurs, on peut retenir :

- Pour les défrichements agricoles : selon l'étude de Bonkoungou (1985), bien que l'ensemble des terres mises en culture ne représentent qu'environ un tiers des 9 millions d'hectares arables du pays, les possibilités d'extension des terres cultivées sont en réalité très limitées dans certaines régions, en raison de la médiocre qualité des sols, de la faible disponibilité des ressources en eau, d'un taux déjà trop élevé d'occupation du sol, ce qui amène à défricher même des zones marginales très fragiles. Aussi, selon cet auteur, qui arrête le seuil maximum d'occupation des sols à 40/km<sup>2</sup> en raison des conditions actuelles générales de la production

(qualité des sols et niveau technologique), la surface agricole utile se rétrécit de plus en plus. Dans le même sens, la carte mondiale de la désertification (Unep/FAO/Unesco/WHO) de 1977 classe ainsi une bonne partie du Burkina Faso dans les zones à risque de désertification élevé.

Sur ce même plan, la dégradation accélérée des galeries forestières, véritable réserve de « château d'eau » du pays, par une occupation anarchique des migrants ou des éleveurs, pourrait constituer un danger aux conséquences incalculables.

– Pour la crise énergétique du bois de chauffe : elle est de plus en plus accentuée en raison surtout du rythme d'urbanisation accélérée (environ 10 à 20 % depuis 1985), de l'augmentation globale de la population (2,67 % depuis 1985), des faibles possibilités de recours aux énergies nouvelles et renouvelables (gaz), face à une productivité jugée faible du matériel ligneux (0,92 m<sup>3</sup>/ha/an et 0,31 à 1,66 m<sup>3</sup>/ha/an respectivement par la savane arbustive et la savane arborée, lesquelles constituent l'essentiel de notre couvert végétal national).

Au niveau du budget des ménages, le coût des dépenses énergétiques absorbe presque la moitié des dépenses familiales, ce qui a fait dire à un observateur qu'il faut souvent « dépenser autant, sinon plus, pour faire bouillir la marmite que pour la remplir » ! (J. Kellermann, cité par Bognounou, 1989 : 35).

– Pour le surpâturage : dans le pays, la superficie des terres à vocation pastorale est estimée à 13 millions d'hectares. Cependant, les conditions de l'élevage extensif, auxquelles s'ajoutent les sécheresses fréquentes, suscitent un rythme de dégradation assez inquiétant de ces terres pastorales.

– Enfin les feux de brousse : bien que les premières mesures de leur réglementation, sinon de leur interdiction, datent de 1935, et malgré la vive réactivation de ces mesures par la proclamation des trois luttes de 1985, les feux continuent de décimer régulièrement le couvert herbacé et ligneux de nos campagnes, à des époques de l'année où ils les consomment sans restriction.

Au total, entre les facteurs abiotiques et anthropiques, la place déterminante sera toujours un sujet à controverse. Toutefois, convenons que c'est à l'homme, l'animal doué de raison et de capacités d'agir, comme l'ont exprimé d'autres auteurs cités plus haut, de trouver et d'imaginer les mesures correctives face à la dégradation de son environnement.

C'est le lieu de souligner la nécessité de la prise en compte du patrimoine endogène des populations en matière de lutte contre la dégradation de l'environnement dans les actuelles stratégies officielles.

### **De la prise en compte nécessaire entre patrimoine endogène et stratégies actuelles de lutte contre la dégradation environnementale**

Nombreuses sont les études et les analyses qui constatent et regrettent que, sur le terrain des acteurs intervenant dans la lutte contre la dégradation de l'environnement, subsistent une distance, une non-collaboration entre le patrimoine endogène des populations et les stratégies officielles menées notamment par les services étatiques.

Pourtant on constate que des similitudes existent entre les préoccupations et même les éléments de stratégies, sur plusieurs plans, comme le note Kéré dans son étude sur la région de Bobo-Dioulasso (2010) :

- au niveau des espèces interdites : des similitudes sont manifestes entre les espèces identifiées par les prescriptions traditionnelles et les listes des agents forestiers étatiques et auraient pu faire l'objet d'une articulation à travers un protocole commun de protection réciproque : l'annexe 3 en donne un tableau illustratif.
- les moments de prélèvement chez les artisans et les périodes de délivrance de permis de coupe chez les forestiers se retrouvent être la même période : la saison sèche. La saison hivernale est interdite de prélèvement des deux côtés.
- les bosquets sacrés, pratiquement régis de la même manière que les forêts classées, peuvent bénéficier également de la protection des forestiers.
- la prise en compte des spécificités des zones par le code forestier reposant sur une généralité, vu qu'elles ne vivent pas toutes les mêmes réalités. L'esprit de décentralisation de plus en plus poussé au Burkina Faso constitue une aubaine pour les administrations provinciales et les collectivités locales pour accompagner cette combinaison.

Certes, les attitudes de méfiance, voire de rejet de collaboration sont partagées entre les deux catégories d'agents, entre les deux ordres de protection de l'environnement : du côté des populations, la référence à l'immutabilité de la coutume est souvent évoquée, comme l'atteste ce propos d'un artisan de 45 ans apporté par Kéré : « Tu vois, chez nous c'est une question de coutume, on fait des sacrifices. Je ne pense donc pas qu'on puisse articuler les deux » ; pour les agents de l'administration publique, l'ignorance, réelle ou feinte du patrimoine endogène existe certes, comme en témoigne ce propos d'un responsable provincial de l'environnement de la même région : « Du point de vue officiel, nous ignorons l'existence de connaissances traditionnelles des artisans en matière de gestion de ligneux » (*ibid.*). Toutefois, ces attitudes relèvent davantage de positionnements idéologiques d'un système à la fois de pensées et de gouvernance sociale, dont plusieurs auteurs ont fait l'analyse critique : Saidou Sanou et Albert Sanon (2003 : 23), Doti Bruno Sanou (2005 : 47) à partir des constatations faites sur la région de Bobo-Dioulasso, Yamba Bidima (1996) pour la zone lobi.

Hors du Burkina Faso, les analyses de Bernard Bonnet (1999) centrées sur les capacités locales, de Weber (1995) qui oppose la notion de « développement viable » à celle de « développement durable », de Lecuyer (sd) qui critique les qualificatifs de « modernes » et de « traditionnelles » rejoignent les mêmes préoccupations.

Au total, la perspective du « Projet majeur africain de la grande muraille verte » devrait pouvoir réussir à susciter, encourager et soutenir hardiment une synergie d'action collaborative entre les acteurs des traditions africaines de protection de l'environnement et les agents officiels en charge de cette préoccupation.

Dans le principe, il convient de dépasser les fausses oppositions entre « tradition » et « modernité », car, comme le confirme Georges Balandier (1974 : 210) : « la tradition intervient dans le façonnage du présent, elle contribue à la réalisation de nouvelles combinatoires sociales et culturelles. Ce qui conduit à constater que toute

modernité fait apparaître des figurations associant “traits” moderne et traditionnel. La relation entre ceux-ci n’est pas dichotomique mais dialectique ».

Au plan des résultats attendus, la mise en commun des idées, des stratégies et des moyens à déployer (matériels, humains, financiers, logistiques, etc.) ne peut que rendre plus crédibles et acceptables les actions dans ce domaine, encourager la participation active des populations et faire partager à tous les retombées bénéfiques.

Au demeurant, la plupart des pays situés dans cette future « ceinture verte » réalisent déjà une expérience avancée de la décentralisation, comportant des transferts de compétences et de ressources, appuyés par des cadres stratégiques de développement décidés au niveau central : c’est le cas au Burkina Faso, avec la « Stratégie de croissance accélérée et de développement durable (Scadd) ». Cette nouvelle approche de la protection de l’environnement, soutenue par une présence vigilante du pouvoir central pour prévenir et corriger à temps les dérives éventuelles de certains pouvoirs locaux, viendra renforcer encore plus les avantages de cette décentralisation.

Pour paraphraser Jean-Marie Breton dans sa recherche sur les aires protégées, ce sera l’opportunité pour prévenir « l’illusion d’un développement univoque » et réaliser une « gestion participative et décentralisée » du patrimoine écologique.

## Conclusion

Les cinquante ans de « capitalisation » évoqués par les documents du Projet de la Grande Muraille Verte doivent pouvoir établir un état des réserves de patrimoine de gestion endogène des écosystèmes par les sociétés africaines : la présente communication en est une contribution.

Les composantes de ce patrimoine ici évoquées n’en épuisent certainement pas le riche répertoire de l’ensemble des pays et des sociétés qui composent la zone de la Grande Muraille Verte. Toutefois, elles y participent et, au-delà des évocations rapides d’éléments d’autres contextes sociétaux et nationaux, leurs similitudes et proximités avec les contextes ici non mentionnés devraient permettre les ajustements nécessaires.

Une partie importante de la zone concernée par le projet se trouve effectivement dans un état de dégradation écologique suffisamment avancé et les effets des changements climatiques intervenant depuis les dernières décennies en aggravent et précarisent davantage les conditions de production et de vie des populations.

Aussi, dans les stratégies de réalisation effective du projet de la grande muraille verte, la prise en compte de ce patrimoine par celles-ci donnera-t-elle au projet des bases plus sociologiques à son ancrage dans les sociétés africaines, facilitera son acceptation par celles-ci, les motivera davantage pour une participation consciente, effective et efficace et contribuera à un développement plus viable, plus durable et mieux partagé.

Puisse le projet réaliser effectivement les capitalisations nécessaires de l’ensemble des connaissances scientifiques et technologiques disponibles pour réussir son pari !

## Bibliographie

- Akouehou S. Gaston  
Environnement institutionnel et gestion traditionnelle des espaces forestiers : cas de la région des Monts Kouffé au Centre du Bénin sd, 47 pages, multigr
- Balandier Georges  
Anthropologiques, Paris, Presses Universitaires de France, 1974, 278 p., multigr
- Bellefontaine Ronald  
« Régénération naturelle à faible coût dans le cadre de l'aménagement forestier en zones tropicales sèches en Afrique », vertigo-la revue en science de l'environnement, vol 6, n° 2, septembre 2005
- Bellefontaine Ronald, Petit Sandrine, Pain-Orchet Michelle, Deleporte Philippe, Bertault Jean-Guy  
Les arbres hors forêts- vers une meilleure prise en compte, Cahier FAO : conservation-35, 2001, 231 p
- Bidima Yamba  
Objets sacrés, objets d'art africains. De l'ombre des sanctuaires à la lumière du Musée : la statuette lobi du Burkina Faso, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III – Victor SEGALEN, 1996
- Bognounou Ouétian  
- 1996 : Diversité biologique végétal du Burkina Faso : aspects ethnobotanique, Rapport d'étude, Ouagadougou, 1996, 53 p. multigr  
- 1987 : Importance socio-économique des essences locales au Burkina Faso, Communication au séminaire national sur les essences locales, Ouagadougou, 6 – 10 juillet 1987, multigr
- Bonnet Bernard  
Renforcer les capacités locales de gestion des ressources naturelles. IRAM, août 1999, 19 pages
- Breton Jean-Marie  
Aires protégées, gestion participative des ressources environnementales et développement touristique durable et viable dans les régions ultra-périphériques (Résumé), sd
- Centre d'Analyse des Politiques Economique et Sociale (CAPES)  
Etat des lieux des savoirs locaux au Burkina Faso, EIDIPAP International, Ouagadougou, 2007, 379 p., multigr
- De Sardan Jean Pierre Olivier  
D'un savoir à l'autre : les agents de développement comme médiateurs, focal coop, 1996, 204 p
- Direction Régionale de l'environnement et des Eaux et Forêts des Hauts Bassins  
« Communication à l'atelier sur le bois d'œuvre de Teck et le bois d'art : cas du "djembé" dans la région des Hauts Bassins », Bobo Dioulasso, octobre 2001, 11 p., multigr
- Hien Pierre Claver et Gomgnibou Moustapha  
Histoire des royaumes et chefferies au Burkina Faso précolonial. DIST (CNRST), 2009 :405 pages.
- Hien Héliane M.  
Rôle socio-culturel de l'artisanat face à la déforestation : cas des artisans de Wolonkoto, province du Houet. Janvier 2010, multigr
- Ganaba Souleymane, Ouadba Jean Marie et Bognounou Ouétian  
« Exploitation traditionnelle des végétaux spontanés en région sahélienne du Burkina Faso », la revue en science de l'environnement, vertigo, vol6 n°2, septembre 2005
- Ido Denis  
La problématique du renouvellement des ligneux utilisés dans l'artisanat d'art : cas de Dandé, province du Houet. Janvier 2010, multigr
- Ido Modeste  
Représentations sociales de la régénération et de la domestication des espèces ligneuses utilisées dans l'artisanat d'art à base de bois à Koumi. Janvier 2010, multigr
- Juhé-Beaulaton Dominique  
Bibliographie générale : Les sites sacrés et la conservation de la biodiversité : enjeux politiques, économiques et sociaux (Etudes de cas au Bénin, Burkina Faso et Togo). Rapport final, sd : 10 pages, multigr.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

Lecuyer Guillaume

Formes d'action collective pour la gestion locale de la forêt camerounaise : organisations « modernes » ou institutions « traditionnelles » ? CIRAD, 7 pages

Loi N° 006/97/ADP du 31 janvier 1997 portant Code Forestier au Burkina Faso, 31 p

Méral Philippe et Requier-Desjardins Denis  
La gestion durable de l'environnement à Madagascar : enjeux, opportunités et contraintes N° 294-295 (juillet-octobre 2006), Madagascar la gestion durable de l'environnement : 6 pages, multigr.

Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie  
Savoirs et savoirs-faire traditionnels favorables à la conservation durable de la diversité biologique : Etat des lieux et plan d'action du Burkina Faso, Ouagadougou, novembre 2004, 101 p. multigr

Projet de gestion et de valorisation de la recherche dans le domaine de la sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest (GVal-Sécurité alimentaire)  
Deuxième forum régional, Cotonou, Bénin, 27 au 27 septembre 2011, multigr

RIPIECSA  
Recueil des résumés.  
Atelier final du programme RIPIECS, Prospective du réseau AMMANET : 18 au 21 octobre 2011.  
Palais des congrès, Cotonou, Bénin.  
Editeurs : Arona Diedhiou, Antoine Bricout, Sandrine Fagnoni, Samia Ovale, CCSd, 10 octobre 2011, 109 pages et indexe, multigr

Sanou Doti Bruno  
- 2006 : « Rapport d'étude sur la mise en pratique des coutumes dans les forêts classées de Dinderesso et du Kou », Bobo Dioulasso, février 2006, 74 p., multigr  
- 2005 : « Rapport d'étude sur le coutumier en matière de gestion des forêts et la mise en pratique des coutumes dans les forêts classées de Dinderesso et Kou », Bobo Dioulasso, septembre 2005, 38 p., multigr

Sanou Doti Bruno, Traoré Yacouba  
Culture et sauvegarde de l'environnement, Bobo Dioulasso, C.A.D, 1999, 174 p., multigr

Sanou Saidou et Sanon Albert  
« Règle de gestion de l'environnement écologique selon les coutumes bobo : cas de villages localisés dans le bassin versant du Kon », département de Bobo, juillet 2003, 37 p., multigr

Sawadogo Ram Christophe  
- 2004 : Adaptation au changement climatique pour le système hydrologique des fleuves sahéliens et des bassins versants de leurs affluents : cas de la Sirba au Burkina Faso, juillet 2004. 43 pages, multigr.

- 1993 : Aspects sociologiques de l'éducation à l'environnement : connaissances et gestion rationnelle de l'environnement par les peuples du Burkina Faso : 37 pages, 1 tableau, 5 annexes dont 1 graphique.  
Document produit dans le cadre du Programme Sahélien d'Education (PSE) pour le Séminaire de formation à l'environnement de responsables de l'enseignement secondaire et de Chefs d'établissement : Ouagadougou, 26 au 30 octobre 1992 et 4 au 18 janvier 1993, multigr.

Sawadogo Ram Christophe,  
Maïga Alkassoum, Bidima Yamba  
- 2008 : « Inventaire, état de la régénération et domestication des espèces ligneuses utilisées dans l'artisanat d'art dans le Bougouriba et le Ioba », Rapport de stage de terrain, Département de Sociologie, Année de Licence, Université de Ouagadougou, 2007-2008, multigr

- 2007 : « Inventaire, état de la régénération et domestication des espèces ligneuses utilisées dans l'artisanat d'art dans le Département de Gaoua et Loropeni », Rapport de stage de terrain, Département de Sociologie, Année de Licence, Université de Ouagadougou, 2006-2007, multigr

- 2006 : « Inventaire, état de la régénération et domestication des espèces ligneuses utilisées dans l'artisanat d'art dans l'Ouest du Burkina Faso », Rapport de stage de terrain, Département de Sociologie, Année de Licence, Université de Ouagadougou, 2005-2006, 63 p., multigr

Weber Jacques  
Gestion des ressources renouvelables : Fondement d'un programme de recherche 1995, 21 pages, multigr

# Annexes

## Annexe 1

*Dénomination des types de sols, description des terrains et espèces de végétation dominante  
(Extraits d'une étude du Patecore).*

Nom en mooré	Description des terrains en surface	Type de végétation et espèce dominante
<b>Tanga</b>	Sol mince, rocheux ou caillouteux sur les collines	Végétation arbustive dégradée à dominante <i>Guiera senegalensis</i> , <i>Ziziphus</i> , <i>Acacia macrostachya</i> , <i>Capparis corymbosa</i>
<b>Zeguedega</b>	Sol gravillonnaire sur piedmont ou pente	Végétation très dégradée arbustive avec quelques acacias
<b>Zecca (à Nô)</b>	Sol latéritique et gravillonnaire sur relief résiduel	Surface dénudée par habitat cultivée sous baobab
<b>Rasampoego</b>	Sol mince ou inexistant sur cuirasse latéritique	Couverture herbacée ou broussaille à dominante <i>Combretum micranthum</i> , <i>Pterocarpus lucens</i>
<b>Siendgo</b>	Sol hydromorphe = dépôt limoneux sur cuirasse latéritique	Tapis herbacé : « <i>soudougou</i> » en mooré (graminée)
<b>Bagtanga</b>	Sol limoneux argileux sur glacis	Végétation arborée dégradée composée de jujubier, <i>Guiera senegalensis</i> , <i>Acacia nilotica</i> , <i>Ziziphus</i> , <i>Combretum</i>
<b>Boole</b>	Sol argileux parfois gravillonnaire sur piedmont	Végétation très dégradée avec quelques espèces telles que <i>Capparis</i> , <i>Balanités</i> , etc.
<b>Blssiga</b>	Sol sablonneux sur plaine	Végétation arborée : karité, <i>Acacia albida</i> , raisinier, prunier, kapokier, caillédrat, etc.

## Annexe 2

Liste des espèces interdites par les groupes ethniques des artisans.

Familles	Noms scientifiques	Français	Bobo	Dioula	Moore
Bombacaceae	<i>Adansonia digitata*</i>	Baobab	Pi	Sira	Twèga
Caesalpiniaceae	<i>Afzelia africana*</i>	Lingue	Kibi	Danga	Kankalga
Annonaceae	<i>Annona senegalensis</i>	Pomme cannelle sauvage	Lé	Mandé sunsun ; ndanga	Barkudga
Bombacaceae	<i>Bombax costatum*</i>	Kapokier à fleurs rouges	Tyen	Bumu ; Voaka bumbu	
Arecaceae	<i>Borassus flabellifer*</i>	Rônier	-	Sébè	Koanga
Caesalpiniaceae	<i>Daniellia oliveri*</i>	Daniellia	Kwéré	Sana yiri	Aonga
Caesalpiniaceae	<i>Detarium microcarpum*</i>	Detar	Kikirinou	Tamakoumba	Kagedga
Mimosaceae	<i>Faidherbia albida*</i>	Cad ; Kad(e)	Shon	Balanzan	Zaanga
Rubiaceae	<i>Gardenia erubescens*</i>	Tukalo	Buremso	Subudga	
Meliaceae	<i>Khaya senegalensis*</i>	Cailcédrat	Tu	Jala	Kuka
Mimosaceae	<i>Parkia biglobosa*</i>	Néré	Nu	Nèrè	Doanga
Caesalpiniaceae	<i>Tamarindus indica*</i>	Tamarinier	Tô	N'tomi	Pusga
Sapotaceae	<i>Vetellaria paradoxa*</i>	Karité	Yéré	Sii	Taanga
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i>	Jujubier	Konon	N'tomonon	Mugunuga
-	-		Tinfourou	-	-
-	-	-	Gwéwé	-	-
-	-	-	Gnini	-	-
* Espèces couramment utilisées dans l'artisanat [Ouétian Bognounou, Yamba Bidima (1996), Saidou Sanou, Albert Sanon (2004), Ouétian Bognounou et Jean Baptiste Ouédraogo (2004) en complément de nos notes de terrain]. Précisons que cette liste n'est pas exhaustive.					
Source : Kéré, 2010					



### Annexe 3

Récapitulatif des espèces interdites communes aux prescriptions coutumières et aux services forestiers.

Noms vulgaires	Noms scientifiques
Linguè	<i>Azelia africana</i>
Kapokier	<i>Bombax costatum</i>
Rônier	<i>Borassus flabellifer</i>
Cailcédrat	<i>Khaya senegalensis</i>
Néré	<i>Parkia biglobosa</i>
Tamarinier	<i>Tamarindus indicas</i>
Karité	<i>Vitellaria paradoxa</i>
Baobab	<i>Andasonia digitata</i> .

L'auteur du tableau note que cette liste n'est pas exhaustive, dans la mesure où certaines espèces (Tinfourou, Gwéwé et Gnini en langue bobo) n'ont pas pu avoir de correspondance en nom scientifique.

Source : Kéré, 2010

# Contraintes et opportunités des mécanismes « carbone » dans la mise en œuvre du Projet panafricain de la Grande Muraille Verte (PAGMV)

OLIVIER HAMEL  
Cirad-Département ES

Ce chapitre bénéficie des travaux menés dans le cadre du projet CASCADE (Crédits carbone pour l'agriculture, la sylviculture, la conservation et l'action contre la déforestation) géré par le PNUE et financé par le FFEM.

## Résumé

Parmi les conventions environnementales issues de Rio (1992), seule la Convention intéressant la lutte contre le changement climatique propose des mécanismes financiers originaux qui pourraient accompagner les pays du Sud vers un développement plus « propre ». Ces mécanismes, issus du Protocole de Kyoto et des négociations post-Kyoto, sont construits financièrement autour d'un indicateur physique qui traduit la diminution des émissions de gaz à effet de serre ou l'accroissement du stockage de carbone dans la biomasse et les sols, dans les systèmes de production et de consommation de ces pays. Mais les impacts socio-économiques en faveur des populations locales, comme la nécessité d'induire une biodiversité plus riche font également partie des critères d'éligibilité.

Il existe deux approches distinctes pour inciter à la réduction des émissions ou pour accroître le stockage : une approche « projet » mise en œuvre par des entités privées ou publiques du Sud dans le cadre du Mécanisme de développement propre (MDP), et des démarches de « politiques » sectorielles qui visent, à la réduction de la

déforestation et de la dégradation forestière, à la gestion durable des écosystèmes, à la préservation et à l'accroissement des stocks de carbone des terres forestières (REDD+). Chaque approche satisfait aux principes généraux imposés par la Convention climat.

Dans les zones sylvo-pastorales du secteur sahélo-saharien, qui est la cible territoriale du concept de la Grande Muraille Verte, la notion de viabilité économique est insuffisante ou inappropriée en regard des enjeux universels qui justifient la sauvegarde de ces écotypes et des systèmes de production.

En regard des financements issus de l'Aide publique au développement (APD), les crédits, susceptibles d'être obtenus à travers ces mécanismes liés au « carbone », sont supplémentaires et de nature différente (qualité, quantité, durabilité). Plus que l'amélioration de la rentabilité de certaines opérations techniques, l'intérêt d'une captation des crédits « carbone » résiderait plutôt dans le suivi et la pérennisation des aménagements territoriaux au profit des populations locales. Au-delà du cycle classique de l'APD, les caractéristiques des financements liées aux marchés contraignants (plus que volontaires) du « carbone » pourraient permettre d'assurer la durabilité des politiques publiques définies pour ces zones, en assurant une couverture financière pérenne des activités de gestion, de suivi et de contrôle.

La difficulté de capter les opportunités financières dépend des modalités à mettre en œuvre pour respecter les principes qui ont été traduits en termes de critères d'éligibilité. Mais en regard des concepts théoriques de la Grande Muraille Verte, l'adoption des critères d'éligibilité (au-delà des opportunités financières) des mécanismes « carbone » est structurante. La démarche politique REDD+ et les crédits « carbone » associés sont, par ailleurs, susceptibles de créer des synergies entre quatre politiques nationales majeures des pays de l'APAGMV, que sont la décentralisation, l'aménagement du territoire, la lutte contre la désertification et la lutte contre la pauvreté.

Parmi tous les concepts et modalités actuelles de la GMV, c'est la notion de « bande de quinze kilomètres de large » qui est la plus lourde de contraintes pour respecter les critères d'éligibilité et les modalités méthodologiques des mécanismes liés au carbone. La mutation de cette bande en chapelet de « collectivités territoriales » permettrait à elle seule de lever ces contraintes, tout en offrant un cadre favorable à la mobilisation des populations, à l'encadrement technique et à la gouvernance qui permette des synergies naturelles avec les politiques d'aménagement du territoire et de décentralisation.

Selon les décisions de Cancun, une démarche REDD+ doit être nationale, avec cependant la possibilité d'adopter une approche sous-nationale, sous réserve d'une consolidation nationale ultérieure. La pertinence d'une approche par écorégion circonscrite aux limites de collectivités territoriales est donc avérée. Mais il importe que chaque État adopte en priorité un cahier des charges national qui s'imposera à toutes les démarches REDD+ et à tous les projets censés induire des diminutions d'émissions. Il s'imposera à tous les bailleurs multi ou bilatéraux, à tous les opérateurs institutionnels publics ou privés (associations de producteurs, ONG, groupes privés) et à toutes les collectivités territoriales.

Les pays de l'APAGMV, en jouant cette carte REDD+ qui leur permet d'adopter un cadre méthodologique structurant du type « développement propre » ou « développement vert », pourraient bénéficier d'une ouverture internationale et d'une écoute plus importante pour réaliser leurs ambitions.

## Introduction

Des connaissances et des expériences ont été accumulées par la Recherche et le Développement sur la zone climatique ciblée par la GMV durant ces cinquante dernières années. Pour synthétiser les acquis, on peut dire que l'on sait ce qu'il ne faut pas faire, mais que l'on ne sait pas toujours ce qu'il faut faire, ni éviter de faire ce que l'on sait qu'il ne faut pas faire.

C'est un problème de gestion des écosystèmes sylvo-pastoraux et donc de relations :

Pastoralisme/Agro-pastoralisme <=> Écosystèmes <=> Climat <=> Gouvernance

Toutes les problématiques de lutte contre la désertification, lutte contre la pauvreté, de préservation de la biodiversité, de changement climatique se retrouvent ici.

Nous avons à notre disposition des techniques ou des systèmes de production qui peuvent être évidemment améliorés, mais en général ce sont les contraintes socio-économico-politiques qui empêchent une mise en œuvre efficace de ces techniques.

Cela ne veut pas dire que des recherches en amont, portant sur la caractérisation et les processus de fonctionnement de ces écosystèmes, ne doivent pas être menées ou poursuivies ; cela signifie simplement que, en dehors des recherches fondamentales toujours nécessaires, les recherches pour le développement ne peuvent être dissociées des contextes socio-économico-politiques appropriés. C'est probablement le cadre de la gouvernance de terrain qui apportera le plus de performance, malgré certaines externalités, dues par exemple à la mondialisation, qui continueront de peser sur toutes les stratégies mises en œuvre.

Durant la décennie 2000-2010, certaines innovations ou évolutions majeures ont changé les données du problème :

- les outils législatifs pour une décentralisation et une régionalisation existent dans la plupart des pays. Ils sont certes perfectibles, mais ils permettent le transfert de la gestion des ressources naturelles auprès des populations. Cela implique que l'État décentralisé repense ses modes d'interventions habituels et que les bailleurs et autres opérateurs type ONG se conforment également à cette politique en fournissant des moyens (financiers et techniques) en adéquation avec les nouveaux enjeux (aménagement du territoire, formation/éducation, etc.) à l'échelle des collectivités territoriales ;
- de nouveaux mécanismes financiers, qui s'appuient sur la valorisation de services environnementaux (liés au climat *via* le « carbone », à la biodiversité ou à l'eau) émergent. L'intérêt financier de ces mécanismes réside principalement dans leurs

complémentarités potentielles avec les autres sources de financements classiques, avec comme caractéristique, non une substitution au financement habituel, mais une complémentarité.

Ces innovations sont de nature à modifier les bases du développement, tout en obligeant la recherche à intégrer de nouveaux indicateurs et de nouveaux « produits » (services environnementaux) dans sa stratégie de recherche.

Dans ce chapitre nous allons essayer de décrire la nature des différents mécanismes financiers liés au carbone, en partant des négociations internationales sur le climat. Nous essayerons ensuite d'aborder les contraintes et les opportunités en faisant la liaison entre les critères d'éligibilité à ces mécanismes et les concepts et modalités de mise en œuvre de la Grande Muraille Verte.

## Genèse des mécanismes financiers induits par le Protocole de Kyoto (PK) et poursuivis dans le cadre des négociations post-Kyoto 2012 : du MDP au REDD+

Pour mettre en œuvre, concrètement, les bonnes résolutions de diminution des émissions de Gaz à effet de serre (GES) contenues dans la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) de 1992, les pays du Nord [Pays de l'annexe I du Protocole de Kyoto] se sont engagés de façon juridiquement contraignante dans le cadre du Protocole de Kyoto (PK) de 1997, à réduire de 5,2 % leurs émissions de GES sur une première période d'engagement allant de 2008 à 2012.

Pour faciliter le respect des engagements de réductions des émissions de GES par les pays du Nord, le PK prévoit trois mécanismes financiers dits de « flexibilité ». Lors des négociations portant sur les modalités de ces mécanismes, de nombreuses discussions se sont déroulées autour de la pertinence de prendre en compte les bilans de carbone liés à l'« Utilisation des terres, le changement d'utilisation des terres et la foresterie » (UTCUTF) [en anglais LULUCF]. Ces débats et polémiques se sont provisoirement achevés lors de l'adoption des décisions connues sous le nom des « accords de Marrakech » en décembre 2001 durant la Conférence des Parties de la CCNUCC de Marrakech (COP 7).

D'une manière générale, le Mécanisme de développement propre (MDP) est le seul parmi les trois mécanismes de flexibilité inscrits dans le Protocole de Kyoto (PK) à concerner les pays du Sud [Pays hors annexe I du Protocole de Kyoto]. Il est régi par des principes généraux qui s'appliquent à tous les projets, qu'ils soient liés à la diminution des émissions de GES ou à une diminution de la consommation d'énergie

fossile (Projets « sources ») ou, pour les projets du secteur UTCUTF, à la séquestration de carbone absorbé dans la biomasse et les sols des écosystèmes naturels ou cultivés (Projets « puits »). Le compromis de Marrakech stipule que pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto 2008-2012, tous les projets de réduction de la consommation d'énergie fossile et de diminution d'émissions de GES sont éligibles dès lors que les périmètres des projets sont bien définis, que les scénarii de référence sont solides, que des mesures rigoureuses d'émissions sont possibles et que des contrôles périodiques peuvent être assurés dans le futur. À l'inverse, tant qu'il n'y a pas de méthodologies fiables (compatibles avec la rigueur et la précision des méthodologies des projets « sources ») les projets de séquestration de carbone dans les écosystèmes (forestier, agricole, pastoral) ne sont pas éligibles, à l'exception des projets de boisements et de reboisements (B&R).

B&R sont donc les seules opérations liées à l'UTCUTF agréées dans le cadre de la 1<sup>re</sup> période d'engagement du PK ; mais malgré ce champ d'éligibilité réduit, la crainte d'abus a induit des règles strictes d'éligibilité. Ces règles fixent, en particulier, les caractéristiques des terres qui sont susceptibles de recevoir des plantations éligibles au MDP en imposant notamment qu'elles ne soient pas des terres forestières, et qu'elles n'aient pas été des terres forestières depuis le 31 décembre 1989. Cela nécessite donc l'adoption par chaque pays d'une définition normalisée d'une structure végétale ligneuse pérenne à partir de laquelle on parlera de « forêt » selon le MDP. Cette base « plancher » doit respecter des indicateurs dont les normes doivent obligatoirement s'inscrire dans des fourchettes imposées par le PK.

Cette définition de base, purement « dendrométricienne », ne prend pas en compte les caractéristiques liées à la biodiversité, ni aux rôles ou aux fonctionnements des écosystèmes.

Ainsi, les B&R intéressent toutes les terres agricoles ou sylvo-pastorales à partir du moment où les biomasses arborées (ou arbustives) préexistantes n'atteignent pas à maturité les seuils « plancher » des indicateurs d'une « forêt ».

Il s'agit donc ici dans le cadre de la 1<sup>re</sup> période d'engagement, de la création d'une ressource végétale ligneuse pluriannuelle. Mais l'amélioration de la gestion des écosystèmes « forestiers » préexistants (selon le MDP), qui aurait pour conséquence l'augmentation du stockage de carbone, l'aménagement « forestier », la déforestation évitée, la dégradation forestière évitée, la conservation, ne sont pas éligibles au MDP durant cette 1<sup>re</sup> période.

L'élargissement de l'éligibilité au MDP est conventionnellement négociable dans le cadre des discussions post-Kyoto 2012 pour toutes les composantes de l'UTCUTF. C'est ainsi que lors de la COP 11 de Montréal en décembre 2005, une soumission portée par le Costa Rica et la Papouasie-Nouvelle-Guinée, qui proposait une initiative pour inciter économiquement à la réduction des émissions liées à la déforestation (RED), a été adoptée pour figurer dans l'agenda officiel des négociations.

Cette soumission a généré des discussions passionnées. Les pays du Sud ont souhaité que l'approche de réduction des émissions liées à la seule déforestation (RED) soit élargie pour intégrer la dégradation forestière (REDD), tout en soulignant la nécessité de mettre en œuvre des incitations positives pour conforter la gestion forestière

durable mise en œuvre à travers les aménagements forestiers. Le terme de « forêt » est toujours pris dans la cohérence du MDP, même si les écosystèmes en question sont des terres sylvo-pastorales ou bien des terres agricoles sous systèmes de production agroforestiers.

Ces efforts ont finalement abouti, puisque la COP 13 de Bali a adopté « *le Plan d'actions de Bali* » (Décision 1/CP.13.) qui invite les Parties à un accord durant la COP 15 de Copenhague. La grande innovation de ce Plan est qu'il prend en considération, *la démarche REDD+ qui concerne « la réduction du déboisement et la dégradation forestière, ainsi que le rôle de la préservation et de la gestion durable des forêts et du renforcement des stocks de carbone forestiers dans les pays en développement (PED) ».*

Ainsi, du RED, nous sommes progressivement passés au REDD, puis au REDD+ qui intègre la gestion durable, l'accroissement des stocks de carbone forestier et la conservation. Ce qui recouvre la totalité du spectre des opérations qui peuvent être mises en œuvre sur les terres « forestières ». Une dernière évolution potentielle désignée par le sigle REDD++ prendrait en compte la totalité du secteur agricole, mais cette extension a provisoirement été repoussée en attendant les retours de contraintes liées à la mise en œuvre concrète du REDD+.

Malgré les résultats très décevants de la COP 15 de Copenhague en décembre 2009, le point positif majeur a été la signature de « *l'Accord de Copenhague* », bien que celui-ci ait été signé en dehors du cadre des décisions juridiquement contraignantes des Nations unies. Les signataires de cet Accord s'engagent : sur la mobilisation de ressources financières nouvelles et additionnelles, dites de « financement précoce » (Fast Start), à hauteur de 30 milliards de dollars sur la période 2010-2012, puis sur 100 milliards de dollars sur la période 2012-2020, avec une allocation équilibrée entre adaptation et atténuation. Dans cet accord, la mise en œuvre rapide du REDD+ est dotée pour les trois premières années de 20 % du financement précoce, soit 6 milliards \$ ciblés sur les forêts.

Les résultats de la COP 16 de Cancun au Mexique (décembre 2010) ont été meilleurs que prévus. Ainsi, après une première décision REDD+ d'« intention » prise lors de la COP 13 de Bali, puis une seconde décision REDD+ « méthodologique » prise à la COP 15 de Copenhague, *la décision* prise à la COP 16 de Cancun est cette fois d'ordre « politique ». Elle marque la reconnaissance officielle du mécanisme REDD+, même si l'ancrage de cette démarche REDD+ dans une cohérence post-Kyoto fait l'objet de discussions difficiles, car elles sont à la remorque des négociations portant sur les réductions contraignantes d'émissions des pays industriels et des pays émergents.

Les décisions de Cancun définissent clairement le champ du REDD+ en confirmant les objectifs initiaux (art. 70). Par ailleurs, elles soulignent que l'approche « nationale » est entérinée, tout en précisant qu'une mise en œuvre selon une approche « sous-nationale » est autorisée sous réserve qu'une consolidation nationale soit à terme réalisée (art. 71). Enfin, il est indiqué que les paiements seront conditionnés aux résultats en termes de réduction des émissions ou en termes d'accroissement de la séquestration, sachant que les modalités des financements futurs (fonds ou marchés,

volontaires ou contraignants) sont encore en débat (annexe 1-J). En attendant, le « fonds vert », issu de l'accord de Copenhague, est officiellement créé pour canaliser plus de 100 milliards de dollars d'ici 2020.

La COP 17 de Durban (décembre 2011) s'est déroulée dans un contexte de crise financière et économique aiguë qui était peu favorable à des prises de décisions importantes en matière de contraintes environnementales. Cependant, pour gagner du temps en attendant un redressement économique et préserver l'essentiel, il a été décidé par la CMP 7 que la durée de la 2<sup>e</sup> période d'engagement dans la cohérence du PK serait de cinq ans (2013/2017) ou de huit ans (2013/2020) pour permettre une bonne articulation avec les décisions de la COP 18. Les discussions les plus constructives de cette COP 17 se sont déroulées autour du REDD+, mais l'alternative portant sur le rattachement du « fonds vert » dans la cohérence du PK ou bien dans la logique d'une initiative volontaire des pays du Nord (sans liaison avec des réductions juridiquement contraignantes d'émissions des pays industriels ou émergents), n'a toujours pas été tranchée.

## Rappel synthétique des spécificités de chaque mécanisme et de leurs déclinaisons concrètes

Pour analyser les opportunités carbone dont pourraient bénéficier les projets forestiers et identifier les contraintes à surmonter, il est rappelé ci-dessous les différences entre « projet » de type Mécanisme de développement propre (MDP), marché Kyoto ou marchés volontaires, et « démarche » de type REDD+. Nous distinguerons dans ce qui suit, les règles et modalités existant dans le cadre de la 1<sup>re</sup> période d'engagement (2008-2015) liée au PK, des évolutions discutées au sein des groupes de travail qui préparent les négociations post-Kyoto.

### **Mécanismes de première génération : MDP Kyoto et marchés volontaires**

Les mécanismes de type MDP intéressent des entités privées (entreprises, groupements de producteurs, ONG, etc.) ou publiques (Agences nationales ou collectivités publiques), du Sud tous secteurs confondus (appelées *Porteurs* de projet) qui, en améliorant leur outil de travail ou leur système de production, peuvent induire des diminutions d'émissions de GES ou des accroissements de séquestration du CO<sub>2</sub>. Ces impacts positifs, en regard des mécanismes climatiques, peuvent être valorisés financièrement par la mise en vente, sur les marchés « carbone », de certificats de réduction d'émissions délivrés par des autorités habilitées. Ces certificats sont achetés par les pays du Nord ou leurs entités industrielles.

Rien n'oblige les Porteurs du Sud à adopter une telle démarche.



## MDP KYOTO/MARCHÉ CONTRAIGNANT

Cette démarche volontaire des Porteurs du Sud peut s'inscrire dans le cadre *du MDP (donc dans le marché carbone contraignant selon le PK)*, si les méthodologies et les modalités respectent strictement les critères d'éligibilité approuvés par le bureau exécutif du MDP (BE/MDP).

Le champ d'éligibilité du MDP dans le cadre de Kyoto couvre les secteurs « énergie » et le secteur UTCUTF, mais les projets pour ce dernier secteur sont limités pour la 1<sup>re</sup> période d'engagement (2008-2012) aux B&R correspondant à la création d'une ressource ligneuse (plantations ou agroforesterie) et non à la gestion d'une ressource existante (ce qui exclut pour le moment la prise en compte de l'aménagement des écosystèmes naturels). Les Certificats de réduction d'émissions (CRE/CERs) obtenus dans le cadre de ces projets seront acquis par des acheteurs du Nord qui pourront les intégrer dans leur propre comptabilité « carbone », lorsqu'ils sont assujettis à des contraintes de réduction de leurs émissions. Les réductions d'émissions des *projets « sources »* (secteur énergie) sont permanentes et donnent droit à des *CRE définitifs*. Inversement, les réductions d'émissions issues des *projets « puits »* (secteur UTCUTF) sont des réductions dont la permanence ne peut être garantie ; en conséquence, elles donnent droit à des Unités de réduction certifiée d'émissions (*URCE*), qui sont attribuées à titre *temporaire*.

Ainsi, les motivations des acquéreurs potentiels des différents certificats sont liées aux stratégies industrielles et financières de chacun en fonction des contraintes sectorielles de réduction d'émission qui sont imposées par les États. Mais les URCE ont en moyenne une valorisation financière trois fois plus faible que les CRE, du fait de leur caractère temporaire.

Les coûts d'instruction et de transaction des dossiers MDP sont toujours élevés, car les modalités d'instruction sont lourdes et complexes. Ces coûts étant de nature à empêcher l'instruction de projets de petite dimension, il a été créé une catégorie de projets dits de « faible ampleur », qui ne dépassent pas un seuil plafond d'économies d'émissions ou de séquestration de carbone arrêté par décision de la COP. Cette catégorie bénéficie ainsi, de modalités et de méthodologies qui diminuent sensiblement les coûts de transaction. Pour les projets B&R de faible ampleur, les absorptions nettes *doivent être inférieures à 16 000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an*. Ils sont développés et mis en œuvre par des personnes physiques ou des communautés disposant de faibles revenus dont les critères sont définis par le pays hôte.

Il est également autorisé d'adopter une approche dite « programmatique ». Elle permet de prendre en compte une répétition d'opérations techniques concrètes dans des contextes formatés, sans que la localisation géographique et les opérateurs de base soient formellement identifiés au moment de l'enregistrement du projet.

Pour des Porteurs publics, cette approche programmatique est probablement l'outil le mieux adapté aux préoccupations des directions techniques nationales, des agences de développement ou des collectivités territoriales. Elle permet de rendre éligibles des opérations techniques à l'échelle d'un territoire, sous réserve qu'elles répondent à des critères de cohérence territoriale parfaitement balisés, sans connaître pour autant les localisations exactes de chaque intervention.

Ce type de projet est potentiellement très intéressant. Il est complexe au montage, mais son coût de transaction peut être amorti du fait de sa large couverture territoriale.

### MARCHÉS VOLONTAIRES/MARCHÉS DE LA COMPENSATION

D'une manière générale, indépendamment du système des Nations unies, toutes activités agronomiques ou industrielles qui génèrent volontairement des Réductions des émissions de GES peuvent rechercher des appuis financiers par tonne d'eCO<sub>2</sub> évitée sur des Marchés volontaires, encore appelés Marchés de la compensation. Le produit échangé sur ces marchés est des Certificats de réduction d'émissions volontaires (REV/VER pour Verified/Voluntary Emission Reductions). Pour assainir les marchés, dans la logique de projets ou de produits bénéficiant d'une certification pour attester de la qualité de produits mis sur un marché, les REV peuvent être labélisés par des Standards qui régulent, codifient et certifient de la véracité de ces certificats. Ces Standards disposent de critères et de méthodologies qui leur sont propres et qui reflètent les approches et les cibles stratégiques de leur tutelle (ONG ou associations).

Ces Standards sont généralement adossés aux critères d'éligibilité du MDP, mais ils s'en sont émancipés sur un certain nombre de points soit pour couvrir des champs d'éligibilité plus large, soit pour contourner des contraintes trop fortes du MDP, soit pour introduire de nouvelles préoccupations insuffisamment présentes dans le MDP. C'est ainsi que les standards qui abordent le secteur UTCUTF se sont émancipés des « crédits temporaires » du MDP en adoptant des « crédits définitifs » qui intègrent une mise en réserve d'une partie des fonds afin de faire face aux accidents de parcours éventuels ou erreurs d'évaluation.

Si ces modalités et méthodologies font preuve d'une plus grande efficacité que les règles du MDP, elles peuvent finir par être validées par le bureau exécutif du MDP.

Si les acquéreurs de REV sont assujettis à des diminutions contraignantes de leurs émissions dans leur pays d'origine, ils ne pourront pas les intégrer dans leur propre comptabilité « carbone » officielle. La valeur des REV est en moyenne inférieure à la valeur des certificats issus du MDP (sauf exception).

Si les vendeurs de REV peuvent être des porteurs de projet du Sud, qui ne peuvent pas respecter les critères d'éligibilité du MDP, les acquéreurs de REV sont généralement des personnalités physiques ou morales (entités industrielles ou administratives, privées ou publiques) qui souhaitent volontairement respecter leur conviction environnementale ou acquérir une image « verte » en espérant valoriser commercialement ou politiquement leur démarche. Ces personnalités sont soit issues de pays non signataires du PK, soit issues de pays signataires du PK lorsqu'elles couvrent des secteurs non soumis à des contraintes de réduction d'émissions.

Parmi tous les Standards, le Voluntary Carbon Standard (VCS), est sans doute celui qui dispose d'une composante Agriculture, Forêt et autres utilisations des terres (AFOLU) la plus complète. Il intègre quatre sous-catégories : les projets de séquestration de carbone par boisement/reboisement ou re-végétation (Afforestation, Reforestation and Revegetation – ARR) ; les projets de réduction d'émissions et/ou séquestration de carbone par l'amélioration de la gestion sylvicole (Improved Forest Management

– IFM) ; les projets de réduction d’émissions de carbone par réduction de la déforestation et dégradation forestière (Reducing Emissions due to Deforestation and forest Degradation – REDD) ; et les projets dont les activités permettent d’augmenter les stocks de carbone ou diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> issues des sols (Agricultural Land Management – ALM).

## Mécanismes de seconde génération suite à la négociation post-Kyoto 2012

### MDP POST-KYOTO :

PRISE EN COMPTE DE LA « GESTION » DES ÉCOSYSTÈMES ET PROJET SECTORIEL

#### Gestion des écosystèmes

Bien que les négociations de Copenhague, Cancun et Durban n’aient pas été conclusives sur ce sujet, malgré des positions positives du groupe de travail AWG-KP compétent, il est malgré tout possible que le champ de l’éligibilité post-Kyoto soit élargi à la « gestion » des écosystèmes (naturels ou artificiels). Il faut alors distinguer l’amélioration des pratiques et des techniques sylvicoles, et la démarche d’aménagement proprement dite qui sous-tend une gestion durable globale qui pérennise la ressource malgré l’exploitation.

L’aménagement est une démarche d’ajustement perpétuel entre la productivité induite par les conditions édaphiques, la gestion dans le cadre d’un aménagement et les prélèvements périodiques pour pérenniser la ressource. Toute amélioration des pratiques qui aboutit à une « additionnalité » (bilan carbone positif) devrait être éligible au MDP, alors qu’une pratique qui n’aboutit pas à l’émergence d’une « additionnalité » en matière de carbone est sans objet pour le MDP.

#### Projet sectoriel

Une autre voie particulièrement innovante, également en discussion favorable au sein du AWG-KP, serait de rendre éligible des projets MDP « sectoriels ». Ce type de projet est une extension des projets programmatiques à l’échelle de secteurs économiques nationaux. Il concerne la mise en œuvre de politiques dans des secteurs économiques déterminés, qui pourraient avoir pour conséquences directes ou indirectes une diminution des émissions de GES ou un accroissement de la séquestration de carbone dans la biomasse ou les sols.

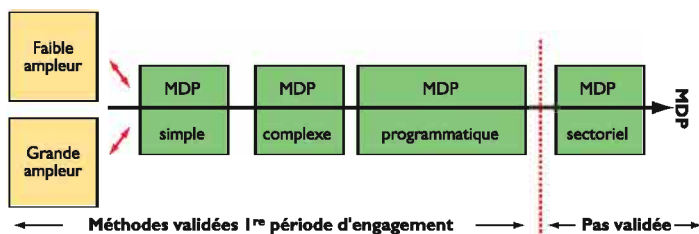


Figure 1.

Schéma des projets MDP validés 1<sup>re</sup> période d’engagement du PK et en discussion.

## LA DÉMARCHE REDD+

### Problématique technique du RED au REDD++

L'évolution du RED au REDD++ a déjà été évoquée précédemment.

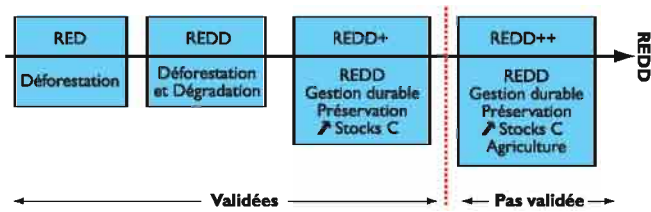


Figure 2.

Schéma des processus et composantes de la démarche « REDD+ ».

Entre ces différentes cibles, les modalités et techniques de mise en œuvre diffèrent profondément, ce qui explique les longues tractations lors des négociations passées, qui ne sont pas encore terminées aujourd'hui.

- La déforestation est la plus « facilement » maîtrisable puisqu'il suffit par imagerie satellitaire d'observer, entre deux dates déterminées, l'évolution du bilan des surfaces des terres forestières à partir d'une définition forêt, que l'on suppose être celle du MDP. Le taux de déforestation est l'indicateur principal. Mais cet indicateur ne suffit pas, car le mécanisme RED nécessite l'évaluation des émissions correspondant à la déforestation qui sera évitée. Ceci exige la connaissance du taux de déforestation de la période de référence historique  $[T_{-1} - T_0]$  que l'on comparera avec le taux de déforestation induit par les politiques mises en œuvre sur une période à venir de durée équivalente  $[T_0 - T_{+1}]$ , car c'est la diminution du taux qui sera valorisée. Mais pour traduire cette diminution du taux de déforestation en termes de tonne d'eCO<sub>2</sub> évitée, il faut à la fois, estimer les biomasses des écosystèmes sous la menace d'une déforestation et, estimer les biomasses correspondant au seuil de la définition « forêt » pour l'écosystème considéré.
- La dégradation est plus difficile à évaluer, car si l'estimation de l'écosystème de référence répond aux mêmes difficultés que pour la déforestation ; par contre, la caractérisation de l'écosystème dégradé n'est pas arbitrairement définie, puisque son état variera entre l'état préexistant et le plancher qui qualifie le seuil de la déforestation. Ceci implique une combinaison de techniques qui associent les évaluations par imagerie satellitaire, une stratification des écosystèmes et des inventaires de terrain, qui permettront de dégager le bilan de la période  $[T_{-1} - T_0]$  avec le bilan de la période  $[T_0 - T_{+1}]$ .
- Les nouveaux objectifs présentés dans la REDD+, introduisent simplement la possibilité de créer des mécanismes spécifiques pour conforter ou développer la préservation, la gestion durable des forêts ou l'accroissement des stocks de carbone forestier avec probablement de nouveaux indicateurs. Ces mécanismes peuvent théoriquement être déconnectés de la seule évaluation des bilans de carbone, car la

gestion durable ou la préservation ne seront pas générateurs de bilans « carbone » suffisamment positifs et donc pas de valorisation financière attractive en regard du seul carbone.

- La prise en compte potentielle des bilans de carbone au niveau des systèmes de production agricole annuelle (REDD++) compliquerait évidemment la tâche au niveau méthodologique, du fait de la dimension des parcelles agricoles et du caractère annuel des systèmes de production qui impose des évaluations adaptées. Mais pour les pays de zone sèche, dont les biomasses forestières par hectare sont beaucoup plus faibles que celles des zones humides, l'intégration des terres agricoles ou pastorales et des systèmes de production, indépendamment de l'existence d'une biomasse ligneuse, est un enjeu important.

#### **La démarche proprement dite REDD+**

Cette démarche REDD+ est issue des réflexions du groupe de travail AWG-LCA dont la cohérence n'était pas celle du PK, mais simplement celle de la CCNUCC. Les décisions de Cancun, en adoptant officiellement cette démarche, intègrent dans leurs composantes à la fois un mécanisme spécifique dédié à la gestion durable des forêts (ou des écosystèmes sylvo-pastoraux), un mécanisme dédié à l'accroissement du stock de carbone en forêt (plantations sur terres agricoles et sur terres forestières) et la préservation des écosystèmes. Toutes les opérations de gestion sont donc couvertes selon qu'elles aboutissent à un bilan de carbone proche de zéro (aménagement durable/conservation) ou à un bilan positif (accroissement du stock de carbone forestier/dégradation évitée). Implicitement, elle justifie le bien-fondé du travail du AWG-KP pour intégrer l'éligibilité de la gestion des peuplements (forêts ou terres sylvo-pastorales) dans le MDP.

Dans un même ordre d'idées, elle justifie aussi le bien-fondé des projets MDP sectoriels. La démarche REDD+ est en effet une démarche de politiques sectorielles qui peuvent avoir des impacts positifs (diminution des émissions ou accroissement de la séquestration de carbone) sur la gestion des « terres forestières » selon la définition « forêt » du MDP. Dans ce cadre, elles couvrent tous les secteurs économiques qui ont une incidence directe ou indirecte sur la consommation d'énergie fossile et/ou la séquestration de carbone (secteurs Énergie et UTCUTF).

Pour satisfaire les mesures de réduction volontaire des émissions de GES des pays du Sud à la base d'une démarche REDD+, les politiques (appliquées aux terres « forestières » selon la définition du MDP) se déclineront en termes de projets. Ces projets ne seront pas forcément mis en œuvre dans le secteur UTCUTF, mais ils auront tous un impact, direct ou indirect, sur les émissions ou la séquestration de carbone dans ce secteur.

Exemple, un projet de diffusion de foyers améliorés ne rentre pas dans le cadre du secteur UTCUTF, mais engendre des impacts indirects sur ce secteur, dans la mesure où la pression exercée sur les peuplements forestiers sera plus faible, ce qui entraînera un accroissement de la biomasse valorisable par le mécanisme REDD.

Certains de ces projets seront éligibles au MDP Kyoto (plantation ; agroforesterie ; régénération naturelle assistée ; amélioration de la carbonisation ; diffusion des foyers

améliorés ; bio-oil ; captation de gaz méthane), d'autres, dont les domaines ne sont pas éligibles actuellement dans le cadre strict du MDP Kyoto, pourront l'être dans le cadre futur du MDP post-Kyoto si les évolutions discutées officiellement depuis Bali sont effectivement entérinées dans un nouveau Protocole post-Kyoto.

Ainsi, finalement la démarche « politique » REDD+ et les démarches « projets » du type MDP, dont les principes de base sont identiques, sont complémentaires. La seule véritable question est donc bien de savoir si les réductions d'émission ou les accroissements de séquestration dans l'une ou l'autre de ces approches permettront de faciliter le respect d'engagements de réduction d'émissions de GES des pays du Nord et des pays émergents, si des contraintes du type PK sont reconduites après la 1<sup>re</sup> période d'engagement.

Si c'est le cas, ceci induit nécessairement des modalités de mise en œuvre, des méthodologies d'évaluation et de contrôle plus lourdes pour contrer les effets pervers et respecter l'égalité et l'équité des comptabilités « carbone » des pays sous contraintes.

Si les contraintes du type PK ne sont pas reconduites, les démarches des pays développés et émergents ne peuvent être que volontaires (aléatoires et non pérennes), en les exemptant de toutes contraintes. Cependant, si les pays du Sud ne parviennent pas à réguler, coordonner, assainir ces opérations pour créer des synergies avec les politiques nationales de développement, les risques d'induire des effets pervers sont importants.

Ceci est d'autant plus vrai que les décisions de Cancun, en adoptant la cible nationale, permettent des cibles sous-nationales de transition en attendant une consolidation nationale. La cible sous-nationale n'ayant pas été définie, elle va du régional au local. De ce fait, il y a deux approches distinctes dont les conséquences sont divergentes au niveau de la maîtrise des politiques de développement par les autorités publiques :

- si la cible sous-nationale s'inscrit dans une cohérence de collectivités territoriales en tant qu'échelon administratif et démocratique incontournable dans l'aménagement du territoire national (région, communauté rurale), cela permet d'assurer une certaine compatibilité des mécanismes à l'échelle de ces territoires et préserve, en conséquence, la possibilité d'inscrire cette démarche REDD+ nationale, dans le cadre d'un éventuel fonds ou marché « contraignant » dans la ligne du PK ;

- si la cible est « locale », cela laisse une très grande liberté à tous les Porteurs (et ses bailleurs) de définir, selon leurs aspirations et leurs intérêts, un territoire « à la carte » (massif, terroir de village, paysages, etc.). Cette cible privilégie les marchés « volontaires » hors la cohérence du PK et des Nations unies. Elle privilégie les contrôles des ONG ou des organismes de certifications privés, sans que l'État soit fortement présent. Dans cette alternative, le risque d'incompatibilité pour une consolidation nationale est grand.

Pour clarifier les débats autour du REDD+, les REDD+ « locaux » devraient être traités dans le cadre de l'approche « projet » du type MDP, au même titre que les opérations techniques actuellement éligibles ou éventuellement éligibles en post-Kyoto. Ainsi, la typologie de la démarche « politique » REDD+ serait réservée aux seules collectivités territoriales allant de l'unité de base qui structure tout

aménagement du territoire au territoire national, en passant par les régions, les provinces ou les entités autonomes d'une république fédérale. Dans cette approche, la démarche politique REDD+ au niveau d'un territoire ne peut être qu'une démarche volontaire d'un gouvernement ou d'une autorité territoriale habilitée par son gouvernement sous le couvert d'une représentation démocratique. L'articulation entre les politiques et les projets est alors claire et le souci de compatibilité entre les projets pour une consolidation territoriale pertinente s'imposera de lui-même.

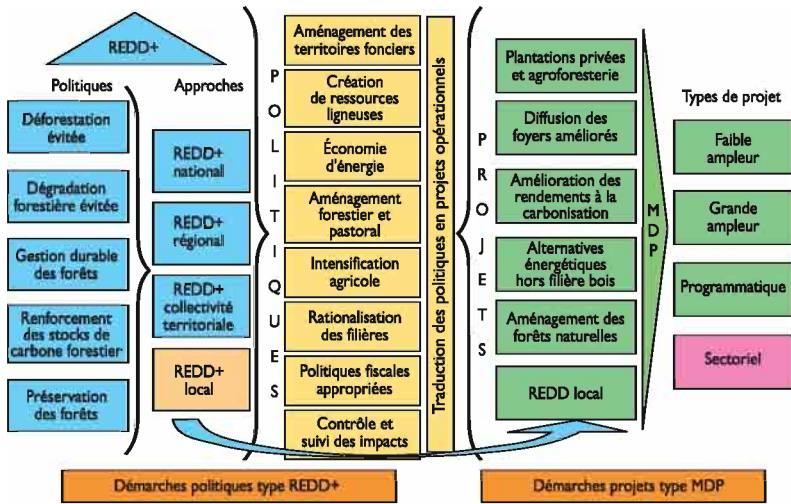


Figure 3. Articulation des démarches type REDD+ et des démarches projets (dans le cadre de marchés ou de fonds contraignants).

Au-delà de la seule problématique REDD+, ces questions touchent véritablement à un choix de société selon l'importance que l'on veut accorder à la régulation des pouvoirs publics et à la gouvernance régionalisée et décentralisée. En acceptant la décision d'une consolidation nationale, sans définir la cible sous-nationale, et en ignorant le politique on court le risque de constater que la pertinence d'une intégration nationale, nécessaire aux marchés et fonds « contraignants » est impossible. Les plus grands pays du Sud participant aux initiatives actuelles (ex. FCPF de la Banque mondiale/GEF/UNREDD), qui n'adoptent pas de cahiers des charges contraignants pour l'agrément des projets, seront alors sous la menace de tout perdre s'ils ne font pas le choix des démarches volontaires (du Nord comme au Sud). Ceci les contraindra à abandonner leur préférence initiale d'un marché contraignant (sous contrainte type PK) et de ce fait, ils perdront un peu de leur souveraineté au profit de Porteurs et de bailleurs/investisseurs qui auront fait le choix des marchés volontaires.

## Principes généraux d'éligibilité aux mécanismes « carbone » des secteurs UTCUTF

Il y a des principes généraux, issus des directives liées à l'application de la CCNUCC et du PK, qui s'appliquent à tous les mécanismes financiers d'incitation à la réduction des émissions, qu'ils adoptent une approche « politique » ou une approche « projet ».

– L'approche « projet » MDP, Kyoto ou post-Kyoto, valorise un *service environnemental « climat »* par le biais du bilan de carbone entre un scénario de projet « classique » de référence et un scénario « propre » que l'on veut mettre en œuvre. C'est la valorisation financière de ce bilan (correspondant aux émissions de GES évitées ou à l'accroissement de la séquestration de carbone dans la biomasse ou les sols) qui est censée permettre la viabilité, économique et sociale, pérenne du scénario « propre ». Même si l'éligibilité au MDP implique que l'on démontre des impacts positifs au profit des *autres services environnementaux* (biodiversité, eau, sols, etc.) ou *socio-culturels*, ces autres services ne disposent pas (pour l'instant) d'indicateurs qui permettent une compatibilité matière rattachée à un mécanisme financier et économique plus global.

– Pour la démarche politique REDD+, les différentes composantes se scindent en deux grands types d'opérations : celles qui débouchent sur des bilans de carbone mesurables qui justifieront la hauteur d'une valorisation financière ; et celles qui ne sont pas caractérisables par des bilans de carbone significatifs et dont les mécanismes d'incitation sont à concevoir. C'est notamment le cas des opérations de préservation et de gestion durable des écosystèmes qui ne débouchent pas nécessairement sur des bilans de carbone significativement positifs. Dans ces derniers cas, les modalités de ces incitations seront nécessairement basées sur les autres services environnementaux, si l'on arrive à les codifier.

Pour les opérations (politiques et/ou projets) qui peuvent être valorisées selon leur bilan de carbone, il y a des règles générales qui s'appliquent à tous les mécanismes. Ces critères sont basés sur de grands principes dont les modalités d'application peuvent varier selon les écotypes ou les échelles d'appréhension.

### Éligibilités des terres pour tous les mécanismes

Nous avons déjà vu au début de ce chapitre que les terres éligibles au MDP pour des opérations de B&R ne devaient pas avoir été depuis le 31 décembre 1989 des terres forestières, pour éviter que des déforestations récentes puissent bénéficier de ces crédits, alors qu'ils sont censés valoriser le développement propre.

Le terme « forêt » (même approche que la définition « Forêt » de la FAO) couvre des terres qui disposent d'une couverture végétale pérenne dont les caractéristiques dendrométriques dépassent un seuil plancher caractérisé par trois critères : une hauteur minimale à maturité, une couverture arborée minimale à maturité et une surface minimale de l'écosystème considéré.



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

Le Protocole de Kyoto a fixé pour chacun de ces critères une fourchette dans le cadre de laquelle chaque pays est tenu de déterminer son indicateur de référence, s'il veut capter ce type de crédit. Le terme de « forêt » correspond à toutes les terres dont la couverture ligneuse est supérieure ou égale à la base de référence, que les terres soient localisées dans le domaine forestier, pastoral ou agricole.

Sur l'ensemble des pays ayant adhéré au projet panafricain de la Grande Muraille Verte, seulement cinq ont d'ores et déjà adopté leur définition nationale.

Tableau 1.  
Définitions « forêt » des pays de la PAGMV déjà déposées auprès de la Convention climat.

	Fourchette du PK	Sénégal	Mali	Niger	Burkina	Éthiopie
Surface minimale	$0,05 \text{ ha} \leq S_m \leq 1 \text{ ha}$	0,5 ha	1 ha	1 ha	0,05 ha	0,05 ha
Couverture arborée minimale à maturité	$10 \% \leq C_{mm} \leq 30 \%$	30 %	30 %	30 %	10 %	20 %
Hauteur minimale à maturité	$2 \text{ m} \leq H_{mm} \leq 5 \text{ m}$	2 m	2 m	4 m	2 m	2 m

Ces indicateurs peuvent paraître élémentaires, mais l'adoption d'une définition nationale qui satisfasse les intérêts régionaux n'est pas simple, car les potentialités divergent selon les zones climatiques, selon les opérations envisagées et selon la cible des mécanismes.

Plus les indicateurs adoptés sont élevés dans la fourchette autorisée, plus les « terres dites forestières » sont en surface limitée et donc plus il y a possibilité de réaliser des B&R éligibles au MDP sur des « terres non forestières ». Mais en milieu agricole, si les seuils sont élevés, les opérations agroforestières auront beaucoup de difficultés pour les atteindre sans mettre en péril la viabilité des systèmes de production annuelle (concurrence). Selon les termes de cette définition, il y a donc divergence des potentialités entre l'agroforesterie et des plantations forestières.

Bien que dans le cadre du REDD+ la définition de la forêt selon le MDP n'ait pas été mentionnée, on peut supposer qu'une certaine cohérence prévaudra et que la lutte contre la déforestation et la dégradation forestière concernera les « terres forestières », définies probablement selon les critères du MDP.

En adoptant les fourchettes hautes de la définition forêt, on limite les surfaces des terres dites « forestières », ce qui revient à limiter l'application des mécanismes REDD+ et donc, l'opportunité de bénéficier de crédits « carbone » par une meilleure gestion des écosystèmes naturels.

Ainsi, l'adoption d'une définition nationale engendre dans la mise en œuvre des mécanismes, selon les zones climatiques et les écosystèmes, des potentialités divergentes et donc des opportunités financières concurrentielles.

D'une manière générale, les premières définitions « forêt » ont été déposées par les pays sous la pression de Porteurs de projet (eux-mêmes sous la pression de bureaux d'études et de bailleurs de fonds/ONG) pour faire adopter des définitions

au mieux de leur intérêt particulier, sans qu'il soit procédé à une analyse approfondie de l'intérêt global du pays. La charge induite par ces définitions, émergeant dans les coûts de transaction et de contrôle des projets, varie selon la dimension des projets. Il est certain qu'une approche nationale REDD n'a pas les mêmes exigences qu'un projet de faible ampleur MDP.

D'une manière générale, les standards des marchés volontaires ont adopté la définition forêt selon le MDP.

Il est probablement souhaitable que certains pays de la zone GMV soient amenés à réviser leur définition pour capter davantage de crédits. Cette révision est possible à condition qu'aucun projet MDP n'ait été jusqu'à présent enregistré par le bureau exécutif du MDP.

Parmi les pays PAGMV, les pays qui disposent d'un projet MDP en cours de validation ou bien définitivement validé sont les suivants :

- Mali : « Mali Jatropha Curcas Plantation Project » [2008] ;
- Éthiopie : « Humbo Ethiopia Assisted Natural Regeneration Project » [2009] ;
- Niger : « Niger Acacia Senegal Plantation Project » [2012 – en attente de validation] ;
- Sénégal : « Oceanium mangrove restoration project » [2011 – en attente de correction].

Il semble que le seul qui ait terminé le cycle de validation soit celui du Mali. Certains ont débuté pour une validation au MDP mais ont fini par choisir le marché volontaire. Donc en théorie, en dehors du Mali, les définitions forêts peuvent être revues.

Il est clair que pour les domaines climatiques correspondant aux zones d'actions de la GMV, les critères les plus attractifs pour limiter les coûts et optimiser les opportunités de tous les mécanismes auraient été de maximiser la surface minimale (1 ha), et de minimiser la couverture arborée (10 %) et la hauteur minimale (2 m). Mais une définition nationale oblige à des compromis pour intégrer les intérêts des zones plus humides.

### **Quelles causes de la déforestation et de la dégradation doit-on prendre en compte ?**

Il faut souligner ici que les concepts de Déforestation et Dégradation évitées rejoignent les concepts de Désertification et de Dégradation des terres définis depuis 30 ans. Mais la CCNUCC spécifie que *les mécanismes dédiés à l'atténuation du changement climatique, ne peuvent intéresser que les impacts liés aux actions anthropiques*. Les impacts provoqués par le changement climatique, lui-même, sont exclus, qu'ils engendrent :

- un accroissement de la productivité agronomique, comme c'est le cas lorsqu'il ya accroissement de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ;
- ou bien une baisse de la productivité ou induisent une mortalité, comme c'est le cas lorsqu'il y a baisse de la pluviométrie.

Dans les zones humides et subhumides, l'impact du changement climatique sur la déforestation et la dégradation est considéré, pour la durée des périodes de

comptabilisation, comme négligeable et donc non appréhendable. Seuls les impacts anthropiques servent de référence. Les politiques susceptibles d'induire des diminutions d'émission sont clairement du domaine de l'atténuation.

Dans les domaines sahélien et soudanien, le cycle des grandes sécheresses entre 1972 et 1986 (dont la corrélation avec l'accroissement en GES de l'atmosphère n'a pas été établie) a entraîné durant cette période une dynamique de désertification et de dégradation intense. Dans les zones particulièrement sensibles, l'impact du seul changement climatique est rapide et observable, mais souvent les impacts climatiques et anthropiques se sont additionnés. *Il sera toujours extrêmement difficile de différencier les impacts directement imputables aux actions anthropiques locales, des impacts imputables aux causes naturelles ou anthropiques extérieures aux pays de zones sèches.*

Cette difficulté se traduira en particulier dans la définition et la construction des scénarios de référence qui intégreront la durée des périodes de référence.

Dans une large mesure, le corollaire du principe précédent est que *la seule présence de carbone, à travers une biomasse préexistante, ne peut pas être valorisée (accords de Marrakech)*. C'est bien l'action anthropique qui est valorisée, ce qui exige que l'on soit capable de mesurer l'accroissement de la biomasse induit par cette action.

Lorsqu'il s'agit de prendre en compte un parc national ou une réserve, le problème est souvent plus complexe. Il peut s'agir d'une simple préservation d'acquis préexistant, avec des écosystèmes en équilibre qui ne génèrent pas d'accroissement de la biomasse. Mais l'équilibre est souvent précaire et l'absence de moyen peut entraîner la dégradation de l'écosystème protégé. Il s'agit alors de construire une méthode généralisable qui débouche sur la quantification d'une émission évitée (contrôle de la faune sauvage ou des animaux domestiques, impacts des populations sédentaires ou transhumantes, feux de brousse, etc.). Cette question touche également les écosystèmes naturels enclavés qui, sans être intégrés dans des concessions de production ou de protection, ne sont pas attaqués tant que leur éloignement les préserve de la pression humaine. Les pays du Sud concernés estiment que la simple présence d'une biomasse forestière contribue à la stabilité du climat et qu'elle doit donc être valorisée pour les services environnementaux qu'elle assume. Il est clair que ce type de service ne peut être valorisable par son bilan de carbone.

### **Additionnalité, scénario de référence et fuite dans le secteur UTCUF**

Les principes validés par la CCNUCC imposent de définir le « scénario de référence » du projet envisagé qui correspond à l'usage des terres et/ou au mode de valorisation qui se serait imposé en l'absence de crédits « carbone » ; puis d'évaluer l'« additionnalité » du futur projet en termes socio-économiques et en termes de bilan de CO<sub>2</sub>, en regard du scénario de référence.

Ces « additionnalités » économique et physique doivent donc être Mesurables, rapportables et vérifiables (MRV).

L'additionnalité économique est simplement basée sur le fait que l'on ne peut pas attribuer de crédits « carbone » à des systèmes de production qui auraient été adoptés de toutes les façons en l'absence du MDP. Un projet naturellement rentable selon les critères économiques classiques, ne peut donc pas bénéficier de crédits « carbone ». Pour bénéficier des crédits « carbone », il faut démontrer que les crédits permettront de rendre viables des projets qui à l'origine ne l'étaient pas du fait, soit du surcoût de système de production plus propre, soit du surcoût de l'implication des populations, soit encore pour surmonter des barrières culturelles ou politiques.

Si la précédente additionnalité a pour objet principal d'éviter des effets pervers potentiels, l'« additionnalité » environnementale ou physique est au cœur des mécanismes, puisque la valorisation financière (à travers les marchés ou les fonds « carbone » contraignants ou volontaires) est construite autour de son évaluation.

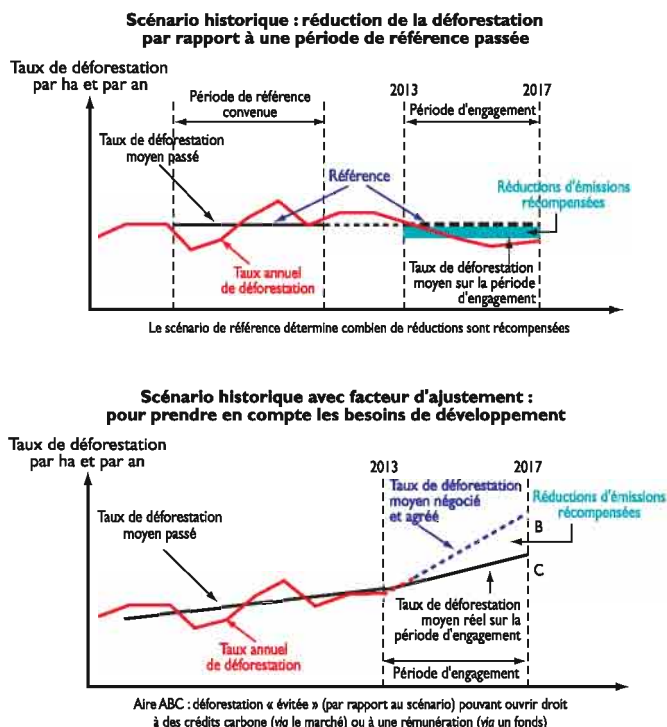
La cible privilégiée de ces mécanismes est la diminution des émissions de GES ou l'accroissement de séquestration de carbone, induits par les projets ou les politiques mis en œuvre, en regard des systèmes de production et des technologies qui auraient été développés en l'absence de ces mécanismes financiers. La mesure de cet indicateur correspond à la proportion additionnelle de GES stockée ou épargnée par rapport à l'absence de projets (ou de politiques) labellisés MDP, standards volontaires, (ou REDD+).

La notion du *scénario de référence* est donc importante et correspond à l'évolution des écosystèmes (naturels ou cultivés) préexistants sur un territoire donné (définition variable selon le MDP ou le REDD+), provoquée par les déterminants classiques d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres, en l'absence de toutes mesures incitatives du type « crédits carbone ». Sa détermination fait l'objet de méthodologies spécifiques, équivalentes pour tous les mécanismes, qu'ils s'inscrivent dans une démarche contrainte ou volontaire.

La méthode la plus utilisée correspond à l'estimation des émissions d'une période historique précédant le démarrage des projets MDP ou politiques REDD+. Cette évaluation historique est ensuite prolongée sur une période future qui correspond à la durée d'un projet MDP ou d'une démarche REDD+. Soit cette projection reprend simplement la dynamique passée, soit elle intègre une analyse plus fine qui prendrait en compte les scénarios prospectifs les plus probables en l'absence de crédits « carbone ».

Il y a des perspectives évaluables du type impact de la démographie ou impact de l'accroissement des troupeaux, mais les discussions portent sur l'intégration de facteurs extérieurs à fort impact, qui modifieraient la dynamique REDD sans qu'elle ait été induite par une politique nationale et volontaire. En clair, il s'agit d'éviter de donner des crédits carbone pour une réduction des émissions (REDD) qui aurait de toutes les façons été induite naturellement en l'absence de tout crédit. C'est la même cohérence que le critère d'« additionnalité économique » rappelé au début de ce paragraphe.

Ces facteurs d'ajustement interviendraient dans les deux sens. Ainsi, par exemple, les besoins supplémentaires en terre agricole pour couvrir l'accroissement de la population, se traduiront par une augmentation de la dynamique carbone de référence.



**Figure 4.**  
Niveau de référence historique versus historique avec facteurs d'ajustement « négocié »  
(type RED à partir du seul taux de déforestation).

Schémas A. Karsenty

Alors que des facteurs économiques non programmés (extérieurs ou intérieurs), qui induiraient une diminution « involontaire » de la pression sur les peuplements naturels, se traduiraient par une pondération négative soit de la dynamique carbone de référence, soit du bilan de la période sous incitation.

Mais chaque thématique du REDD+, en cohérence avec les domaines climatiques, nécessite des méthodologies spécifiques d'évaluation des scénarios de référence.

À noter, qu'il est également nécessaire d'évaluer les « pertes associées », quel que soit le mécanisme choisi. Ces pertes, encore appelées « fuites », sont des émissions de GES causées par le projet candidat à l'éligibilité (ou des politiques) en dehors des limites du projet (ou des territoires d'application du REDD+). Ainsi, lorsque le prélèvement de matériel ligneux par des populations est localement perturbé du fait de la mise en œuvre d'un projet de gestion forestière, si ces populations se contentent de déplacer leur prélèvement hors des périmètres du projet, ces émissions délocalisées doivent être intégrées dans les bilans de carbone.

## Pool carbone

En théorie, pour tous les mécanismes (MDP ou REDD+, marchés contraignants ou volontaires) les bilans de carbone doivent intégrer les cinq compartiments constitutifs du pool « carbone ». Ces compartiments représentent : la biomasse aérienne, la biomasse souterraine vivante, le bois mort et les feuilles, la litière et le carbone de la matière organique du sol. Lorsque l'on parle de carbone au niveau du pool, il faut comprendre équivalent CO<sub>2</sub>. C'est-à-dire que toutes les émissions de GES susceptibles d'être émises doivent être prises en compte et il ne faut donc pas se limiter au seul CO<sub>2</sub>.

Il est cependant admis que l'on peut faire abstraction d'un ou plusieurs compartiments, à condition de démontrer que le bilan net global d'évitement ou au niveau du pool ne sera pas surévalué.

Cette contrainte de la démonstration est évidemment lourde selon les différents faciès et selon les écosystèmes. La décision de ne pas prendre en compte un compartiment dépend étroitement de l'additionnalité carbone de chaque compartiment et du coût de la mesure et de la vérification selon des échantillonnages rigoureux.

Les compartiments les plus complexes et les plus coûteux sont la matière organique du sol et la biomasse racinaire.

## Évaluation de la variation d'un stock de carbone ou d'un flux de carbone ?

Les impacts de l'atténuation dans le secteur UTCUTF réalisés à travers les MDP/REDD correspondent à l'« additionnalité » traduite en termes de GES évités ou de séquestration de carbone. Les évaluations quantitatives de cette additionnalité ne peuvent pas être réduites en une simple variation de stock de la biomasse à un instant T<sub>0</sub> et à un instant T<sub>1</sub>, [ $\Delta_{T_1-T_0}$ ].

Pour tous les mécanismes, il s'agit de mesurer une dynamique de flux de carbone durant une période de référence (T<sub>0</sub>-T<sub>1</sub>) caractérisée en perte ou gain de stock carbone, que l'on comparera à la variation de stock d'une période d'engagement (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>). *C'est la différence entre les deux variations de stocks sur les deux périodes (période de référence/période d'engagement) qui détermine l'additionnalité valorisable : [ $\Delta_{T_1-T_0} - \Delta_{T_0-T_1}$ ].*

Ce rappel est important, car le secteur UTCUTF n'étant couvert dans le cadre du MDP/Kyoto que par les boisements ou les reboisements sur des terres non forestières (donc sur des terres agricoles ou fortement dégradées), le bilan de carbone du scénario de référence est en première approximation égal à zéro [ $\Delta_{T_0-T_1} = 0$ ]. Du coup l'« additionnalité » pour ces projets correspond au seul [ $\Delta_{T_1-T_0}$ ]. Mais pour toutes les extensions éventuellement éligibles en post-Kyoto (ex. gestion des écosystèmes) et pour le mécanisme qui couvrira la REDD (hors REDD+), le calcul  $\Delta_{T_0-T_1}$  n'est pas égal à zéro, ce qui constitue une contrainte de taille. Ceci implique donc pour le REDD des évaluations de stocks à trois dates distinctes : T<sub>1</sub> ; T<sub>0</sub> ; T<sub>1</sub>. La charge est donc lourde lorsque les évaluations de cette « additionnalité » demandent une combinaison d'images satellitaires et d'inventaires de terrain.

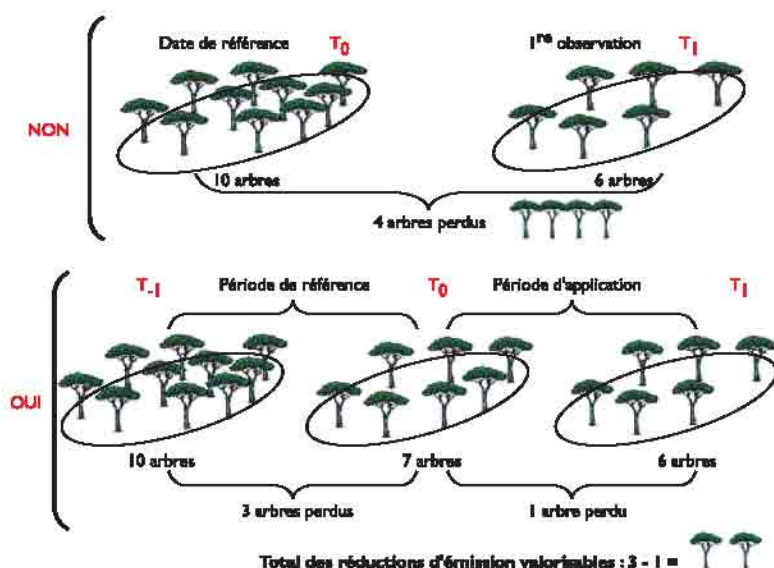


Figure 5.

Schéma principe comptable de l'« additionnalité » propre aux secteurs de l'UTCUTF applicable aux mécanismes financiers liés au « carbone » sous tutelle de la Convention climat.

## Multiplicité des valorisations financières pour des objets « carbone » différents

Dans le cadre de marchés ou de fonds *contraignants* qui exigent des comptabilités « carbone » rigoureuses, à la fois dans le pays hôte dont sont originaires les Porteurs et dans le pays acheteur d'où sont issus les investisseurs, la même tonne de carbone (évitée ou séquestrée) ne peut pas être valorisée deux fois. Ceci paraît naturel, mais cela exige des limites conceptuelles ou des périmètres géographiques parfaitement établis et transparents, et une bonne articulation entre les initiatives pour éviter des recouvrements multiples. Ceci s'applique pour le MDP comme pour la REDD+.

Les marchés ou les fonds volontaires peuvent poser problèmes dans la mesure où les initiatives ne sont pas forcément approuvées et suivies par une autorité de tutelle publique du pays hôte et que les certificats des bilans de carbone générés ne peuvent de toutes les façons pas être intégrés dans les comptabilités « carbone » des pays ou des entités du Nord. Des doubles valorisations dans le cadre d'un système contraignant et d'un système volontaire peuvent être juridiquement possibles, mais de nombreux effets pervers seraient ainsi générés. Pour se prémunir contre ces pratiques volontaires ou involontaires, seuls des registres publics peuvent les encadrer, ce qui nécessite une validation par les autorités publiques.

Si une même tonne de carbone ne peut être valorisée deux fois, il peut y avoir, en revanche, des valorisations « carbone » en cascade pour des objets ou des services « carbone » différents pourtant issus d'une même opération technique ou décisionnelle.

- Les plantations sont valorisables par la biomasse séquestrée (temporairement) sur parcelle ou massif, mais les produits après exploitation sont potentiellement valorisables s'ils sont utilisés en substitution à de l'énergie fossile ou, à travers le carbone qu'ils peuvent séquestrer durant un temps plus ou moins long dans les produits transformés. Par ailleurs, cette création de ressources ligneuses va induire une diminution de la pression d'exploitation exercée sur les peuplements naturels, qui va engendrer un accroissement de la biomasse au niveau des écosystèmes naturels. Cet accroissement de biomasse peut être valorisé dans le cadre d'une approche REDD. Pour toutes ces opportunités, les objets « carbone » sont différents.
- L'amélioration de la carbonisation induit une amélioration du rendement en charbon par tonne de bois sec. Cette quantité supplémentaire de charbon correspond à une amélioration nette du bilan de carbone pour cette technologie qui donne droit à des crédits permanents. Mais cette amélioration induit une pression plus faible par ricochet sur les peuplements naturels, que les bois carbonisés soient issus de peuplements naturels ou que les bois soient issus de plantations (à productivité agronomique équivalente, la couverture des besoins énergétiques est plus large). Cette baisse de pression sur les peuplements naturels se traduit par un accroissement de la biomasse sur pied de ceux-ci qui pourrait être valorisable dans le cadre d'un MDP post-Kyoto (en donnant droit à des crédits temporaires) ou, à défaut, dans la REDD.
- Le foyer amélioré induit un accroissement de l'énergie utile issu de la combustion d'une même quantité de bois ou de charbon de bois. La diffusion des foyers améliorés induit donc une diminution de la consommation en bois et charbon qui correspond à une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> éligible au MDP à travers des crédits permanents. Comme pour l'amélioration de la carbonisation, elle induit une diminution de la pression exercée en forêt naturelle ou en plantation (et par contre-coup, en forêt naturelle), qui engendre un accroissement de la biomasse sur pied valorisable soit dans le cadre d'un MDP post-Kyoto (crédits temporaires), soit dans le cadre d'une REDD.
- L'utilisation de bio-oil, si elle vient en substitution à de l'énergie fossile, est valorisable par le MDP à travers des crédits permanents. Si elle vient en substitution à de l'énergie bois, tout dépend de l'origine du bois qui ne sera pas utilisé. Si ce bois est issu d'un peuplement naturel ou artificiel géré durablement, il n'y a pas de crédits à attendre ; si à l'inverse, ce bois n'est pas issu d'un peuplement géré durablement, la substitution entraîne une diminution des émissions qui donne droit à des crédits en rapport avec la dynamique de dégradation des peuplements dont le bois est issu.
- La captation de gaz méthane (déchetterie) donne droit à des crédits permanents pour les émissions évitées en déchetterie traditionnelle et donne droit à des crédits permanents si la récupération du gaz se fait à des fins de substitution de gaz fossile ou d'énergie bois non renouvelable selon les mêmes alternatives que précédemment.



## **Limite, périmètre et frontière des projets et politiques**

Pour tous les mécanismes, quels que soient les secteurs, les notions de frontière, de périmètre, de limite des activités de terrain envisagées ou de politiques à mettre en œuvre, sont très importantes. Ces notions prennent des dimensions différentes selon que l'on traite des « sources » ou des « puits » de carbone et selon l'approche « projet » ou « politique » sectorielle adoptée.

En fonction de l'importance quantitative des « sources » d'émissions et de la cible choisie (producteur ou consommateur), les limites des opérations peuvent circonscrire l'outil de travail industriel (unité industrielle), la diffusion auprès des consommateurs d'un produit manufacturé économe en émissions (fourneaux améliorés), la formation d'une corporation d'artisans (charbonniers), ou encore un territoire administratif quelconque (commune, communauté rurale, région, etc.) en ciblant producteurs et consommateurs.

Les périmètres des projets ou politiques liés aux « puits » de carbone sont toujours associés à des frontières territoriales (propriétés privées de l'État, concessions privées, massifs forestiers ou sylvo-pastoraux, terroirs de village, communautés rurales, régions, etc.).

Pour évaluer les émissions ou les séquestrations, ces frontières sont importantes puisque les méthodologies de monitoring et de vérification des résultats sont construites dans leur cadre respectif. Une règle conventionnelle impose que tous les produits qui sortent du « périmètre » sont traduits en termes d'émission d'eCO<sub>2</sub>. Ainsi, dans le cadre d'une plantation à des fins de bois d'énergie, de service, ou de vergers fourragers ou gommiers, si le périmètre choisi correspond au massif de plantation, tous les produits exportés du périmètre correspondent à des émissions de CO<sub>2</sub> dans le bilan de carbone. Si le périmètre choisi correspond à la fois à un massif forestier ou sylvo-pastoral et à une unité artisanale ou industrielle, le bilan devra être circonscrit à ces limites en tenant compte toutefois du caractère définitif ou temporaire des réductions d'émissions réalisées.

À noter également, que l'on doit intégrer dans le bilan les émissions éventuellement provoquées à l'extérieur du périmètre (pertes associées/fuites). Par exemple, si pour protéger un périmètre sylvo-pastoral on est amené à restreindre le parcours des animaux ou bien si dans le cadre d'une forêt aménagée, on interdit le prélèvement de bois de feu au profit des populations, dans l'un et l'autre cas les émissions provoquées par le déplacement des troupeaux et par la satisfaction des besoins énergétiques des populations à l'extérieur du périmètre aménagé doivent être comptabilisées dans le bilan du périmètre.

Ceci montre l'importance de ces notions de périmètre. Les méthodologies exigent, toutes, une description très précise de ces limites. C'est vrai pour les projets et c'est aussi vrai pour l'application des politiques mises en œuvre. Dans le cadre des composantes du REDD+, l'approche nationale est imposée, mais il est accepté une approche sous-nationale en phase de transition. Ainsi, pour réussir une consolidation rigoureuse à l'échelle nationale, on a tout intérêt à circonscrire la cible sous-nationale à un territoire de collectivité territoriale, afin d'éviter des incompatibilités méthodo-

logiques au niveau des évaluations du bilan de carbone et au niveau des modalités de mobilisation des populations.

### **Durée de la période de référence, période de comptabilisation, durée de vie des certificats et périodes d'engagement**

Les périodes de comptabilisation des projets du secteur UTCUTF sont de 20 ans renouvelables deux fois, ou de 30 ans non renouvelables. Ceci est très important, car cela oblige à construire les projets non pas dans les durées de vie classique correspondant aux temporalités des bailleurs de fonds type APD, mais à se projeter dans des temporalités qui intègrent la pérennisation des projets. Les vérifications des performances réalisées par des Entités opérationnelles désignées (EOD) indépendantes sont faites tous les 5 ans. Cette durée correspond (et ce n'est pas un hasard) à la durée des périodes d'engagement de réduction des émissions de GES des pays de l'annexe 1. Les certificats temporaires liés aux projets plantations/MDP, selon qu'ils sont courts (tCERs/URCE-t) ou longs (ICERs/URCE-LD), ont donc respectivement : une durée de vie fixe de 5 ans renouvelable à chaque période d'engagement de Kyoto ou une durée qui correspond au départ à la période de comptabilisation du projet (20 ans ou 30 ans), mais qui ensuite diminue de 5 ans tous les 5 ans, pour s'éteindre en fin de période de comptabilisation. Les URCE sont délivrés à la suite de ces vérifications et sont intégrables dans la comptabilité carbone des acheteurs pour la période d'engagement qui suit la période dans laquelle les vérifications ont été effectuées.

Les périodes de comptabilisation des projets des secteurs liés à l'énergie (réduction d'émission permanente et donc certificat permanent) sont de 7 ans renouvelables deux fois ou de 10 ans non renouvelables. Les vérifications faites par les EOD sont annuelles.

Les décisions de la CMP 7 (Conférence des Parties du PK) de Durban prolongent la première période d'engagement (2008-2012) de réduction des émissions du PK par une période supplémentaire de 5 ans ou 8 ans (échéance 2017 ou 2020), sans impacter les règles comptables au niveau du MDP. Les REV des standards volontaires ont adopté les mêmes périodicités que le MDP selon les secteurs, mais ils se sont émancipés des certificats temporaires dans le secteur UTCUTF en adoptant des systèmes de garantie pour limiter les risques de la non-permanence.

Pour les mécanismes REDD+, la durée de la période de comptabilisation n'est pas officiellement déterminée. On peut supposer qu'il y aura concordance entre les périodes de comptabilisation du secteur UTCUTF pour l'ensemble des mécanismes, c'est-à-dire, 20 ans (éventuellement renouvelables deux fois) ou 30 ans (non renouvelables). À noter que les standards qui ont d'ores et déjà adopté les « projets REDD+ locaux » (ex. VCS), ont également adopté ces rythmes de vérification de 5 ans qui précèdent la délivrance des crédits.

Cette discussion sur les durées de comptabilisation intéresse également la durée de la période de référence qui intervient dans la définition du scénario de référence, en particulier lorsque la base de la méthode est historique. Pour les pays de zones sèches du type sahélien, c'est important, car si généralement la période historique de référence part du 31 décembre 1989 et peut courir jusqu'en 2005 ou 2010, il se

trouve que les pays sahéliens ont connu de très grandes sécheresses entre 1972 et 1986 qui, combinées avec l'impact anthropique record du pastoralisme, ont entraîné une très forte désertification. Ainsi, la décennie des années 1990 a connu une stabilisation climatique avec un cheptel peu nombreux, alors que la décennie des années 2000 a vu une amélioration pluviométrie, une reconstitution progressive du cheptel et une reconstitution (faible) des écosystèmes. Ainsi, pour le domaine sahélien, la période de référence peut avoir un impact très fort sur le bilan carbone éventuellement valorisable pour le mécanisme REDD.

En conséquence, les nécessités d'une cohérence et d'une bonne articulation entre les projets MDP et les politiques REDD s'imposeront naturellement. Mais la période et la durée de référence semblent être un enjeu important pour les pays de zone sèche.

### La contrainte de l'APD

Jusqu'à présent, l'Aide publique au développement (APD) (bilatérale, multilatérale ou décentralisée) jouait un rôle très important dans le financement et (même) dans la conception de la plupart des projets forestiers ou sylvo-pastoraux d'envergure. Depuis une dizaine d'années, l'impact des ONG (à la fois bailleur et opérateur) a changé le panorama, mais l'envergure de leurs opérations est plus réduite et les cibles sont locales et personnalisées. L'un des principaux attraits de l'initiative APMV est d'être la marque d'une forte volonté politique plurinationale africaine. Il est clair qu'une forte volonté nationale, lorsqu'elle est relayée par une mobilisation pérenne des populations sous couvert d'un transfert de la gestion des ressources créées, génère des coûts de fonctionnement très nettement plus faibles que des coûts induits par des opérations menées en régie publique ou en régie privée (lorsqu'il s'agit d'intervenir dans des concessions privées). Cependant, les besoins financiers restent importants et l'expérience de la GMV de ces cinq dernières années montre que le budget des États ne suffit pas et qu'il est nécessaire d'avoir un apport financier extérieur (en particulier, issu de l'APD) pour, notamment, satisfaire les investissements.

Cependant, dans le cadre du MDP, *les Accords de Marrakech interdisent l'attribution de CRE ou d'URCE*, lorsque les investissements proviennent de l'APD, par crainte d'un détournement de l'APD traditionnelle au profit de l'acquisition de CRE/URCE. Cette règle est évidemment très contraignante, en particulier pour l'Afrique et singulièrement pour les pays des zones sahéliennes, car la gestion des écosystèmes forestiers ou sylvo-pastoraux n'a pas de rentabilité suffisante pour attirer des investissements privés.

Pour surmonter ce handicap, un assouplissement de cette règle (justifiée au demeurant et, d'ailleurs, induite historiquement par les pays du Sud) pourrait être introduit en interdisant par exemple à toutes les entités du pays dont est issue l'APD d'acquiescer ces certificats. Une autre solution pourrait être de contraindre le pays industrialisé dont est issue l'« entité industrielle du Nord acheteuse » de verser l'équivalent de la transaction financière dans un fonds fiduciaire destiné au développement du Sud.

Il faut noter que *les marchés volontaires ne sont pas soumis à cette contrainte* lorsque les financements sont issus de l'APD. À partir du moment où les REV ne peuvent pas être intégrés dans la comptabilité carbone des entités acheteuses du Nord, les risques de détournement de l'APD n'existent plus.

En l'absence de cet ajustement :

- soit les APD s'abstiennent de soutenir financièrement ce type de projet, ce qui nécessitera alors la mobilisation de fonds publics nationaux du pays hôte ou de fonds privés (fondation et ONG). Dans ce cadre, les gouvernements du Nord pourraient encourager leurs services (quitte à créer des guichets spécifiques) et leurs entités industrielles à acheter les URCE produites, si les règles d'éligibilité sont satisfaites ;
- soit les APD financent tout ou partie des projets, ce qui empêche les porteurs du Sud d'avoir recours aux opportunités « carbone » pour la partie directement issue de l'APD. Cependant, une fois les investissements de l'APD clôturés, il peut y avoir une demande de crédits « carbone » basée, non sur la création de la ressource financée par l'APD mais, sur la dégradation évitée des ressources créées. Ceci nécessite néanmoins que la gestion des peuplements soit effectivement éligible au MDP post-Kyoto ; mais il est certain que la quantité d'URCE serait nettement plus faible.

Dans la cohérence d'une démarche REDD+, la contrainte de l'APD ne se pose pas dans les mêmes termes que pour le MDP. En effet, le montage financier d'une démarche REDD+ à l'échelle d'un pays, d'une région ou d'une plus petite collectivité territoriale (communauté rurale, cercle, canton, etc.) ne prend en compte que les études nécessaires à la définition des politiques à mettre en œuvre pour aboutir à des engagements de réduction des émissions liées aux différentes composantes du REDD+. L'évaluation de ces engagements (volontaires) de réduction exprimés en tonne de CO<sub>2</sub>, sera l'addition des impacts, des mesures législatives, des politiques de développement et des projets concrets de terrain qui seront mis en œuvre. Ces engagements seront ensuite traduits en crédits « carbone » selon des modalités qui restent à définir et qui varieront notamment selon que l'on adopte une entrée « marché » ou une entrée « fonds », et selon l'origine des crédits disponibles « contraignante » ou « volontaire ».

Comme pour le MDP, si les crédits destinés au REDD+ ne donnent pas droit à des certificats susceptibles d'être intégrés dans la comptabilité carbone des pays industrialisés (ou émergents ?), l'APD ne peut être une contrainte. Mais la pérennité des crédits volontaires n'est pas garantie. Cependant, si le fonds vert « volontaire » créé à Cancun bénéficie de 100 milliards de dollars par an à partir de 2020, il est assez peu probable que l'utilisation de ces crédits (gérée par la Banque mondiale) ne soit pas assortie de conditions d'encadrement sévères. Rien ne dit pour le moment qu'ils seront délivrés directement et intégralement à la puissance publique du Sud. Enfin, si les sommes destinées au fonds vert sont respectées (équivalentes à l'APD annuelle), on peut s'interroger sur l'évolution de l'APD traditionnelle.

La mise en œuvre des politiques REDD+ déclinées en termes de projets pourra bénéficier des crédits carbone du type fonds vert, mais il sera, probablement, nécessaire de faire appel aux financements classiques (APD, banques, privés) pour, au mieux, compléter les financements.

Certains de ces projets pourront même bénéficier de crédits MDP. Il y aura donc nécessité d'une bonne articulation entre ces différents mécanismes afin d'éviter des effets pervers potentiels, respecter les règles d'éligibilité et consolider à l'échelle nationale une comptabilité carbone pertinente.

## Données existantes et enjeux carbone

### Estimations des enjeux en matière de carbone au niveau des zones sèches de la planète

D'une manière générale, il est difficile de comparer les différentes évaluations des compartiments du « pool carbone » des grands biomes planétaires, car les définitions des biomes s'ajustent imparfaitement d'un continent à l'autre, les interprétations des images satellitaires sont fonction des caractéristiques techniques et des méthodes de validation terrain, et les méthodologies d'évaluation des stocks de carbone (biomasse et sol) sont des sondages à références scientifiques et techniques variables.

En référence aux rapports de WBGE 1998 et du GIEC 2000, les savanes tropicales et les déserts et semi-déserts stockent en moyenne respectivement 147 tC/ha (29 t dans la biomasse et 117 t dans les sols) sur 22,5 millions de km<sup>2</sup> et 44 tC/ha (2 t dans la biomasse et 42 t dans les sols) sur 45,5 millions de km<sup>2</sup> contre 243 tC/ha en moyenne

Tableau 2.  
Les stocks de carbone dans la biosphère continentale.

Biotope	Surface 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	Stocks de carbone moyens par ha			Stocks biomasse en GtC	Stocks Bio + sol en GtC
		Biomasse tC/ha	Sol* tC/ha	Total tC/ha		
Forêts tropicales	17,6	120	123	243	211	428
Forêts tempérées	10,4	57	96	153	59	159
Forêts boréales	13,7	64	344	408	88	559
Savannes tropicales	22,5	29	117	146	65	329
Prairies tempérées	12,5	7	236	243	9	304
Déserts et semi-déserts	45,5	2	42	44	9	200
Toundra	9,5	6	127	133	6	126
Zones humides	3,5	43	643	686	15	240
Agrosystèmes	16	2	80	82	3	131
<b>Total</b>	<b>151,2</b>	<b>30,8</b>	<b>133</b>	<b>163,7</b>	<b>465</b>	<b>2 476</b>

\* = 0-1 m de sol  
Source WBGU 1998 : Conseil consultatif allemand sur le changement mondial  
Repris par IPCC 2000

pour les biotopes intégrant l'ensemble des forêts tropicales sur 17,6 millions de km<sup>2</sup>. Les masses de carbone en jeu seraient donc plus importantes pour l'ensemble des écosystèmes des zones sèches et arides, que pour les forêts tropicales (529 GtC contre 428 GtC).

Si l'on se circonscrit au continent africain, les savanes représentent 15,1 millions de km<sup>2</sup>, mais la définition de la savane est large et va de la savane herbacée sans arbre à la savane arborée limite des forêts denses sèches.

Il faut également rappeler que si dans les années 1990, la déforestation en forêt sèche intervenait pour au moins le tiers des surfaces déboisées de la zone tropicale de la planète, en Afrique les forêts sèches représentaient les deux tiers des zones déboisées, soit le tiers des émissions imputables à la déforestation en Afrique.

Ainsi, l'impact des pays de zones sèches dans les émissions liées à la déforestation et à la dégradation est-il significatif et n'est pas suffisamment pris en compte dans les discussions actuelles. Mais l'évaluation des stocks dans la biomasse à l'échelle des biomes africains est particulièrement délicate dans les écosystèmes des zones sèches du type savane.

## **Spécificités et données disponibles concernant la zone sylvo-pastorale sahélienne**

### **IMPACTS HISTORIQUES DES GRANDES SÉCHERESSES DE LA PÉRIODE 1972-1986**

À la suite des grandes sécheresses des années 1970 et 1980, c'est toute la zone sylvo-pastorale de la bande sahélienne qui a enregistré les dégradations les plus profondes sur ses écosystèmes. Les causes de dégradation et de désertification massive enregistrées étaient dues à une combinaison de causes anthropiques et climatiques, sans que la responsabilité des GES n'ait été démontrée. Dans les années 1960, la multiplication des forages profonds, l'amélioration sanitaire des troupeaux et la présence d'une végétation riche et diversifiée ont induit un accroissement considérable de la charge animale [thèse Poupon et projet MAB]. Cette charge excessive a été mise en évidence lors des très fortes sécheresses intervenues entre 1972 et 1986 qui ont provoqué une rupture brutale de l'équilibre de ces écosystèmes et entraîné une mortalité importante de la végétation ligneuse. Ainsi, les écosystèmes sylvo-pastoraux ont-ils été profondément dégradés et certains sont devenus des parcs monospécifiques de quelques dizaines d'individus par hectare. La mortalité animale combinée à l'abattage volontaire fut également très forte, et a sans doute dépassé les 30 % du cheptel de certains pays. Ceci était en général fonction de la diversité des écosystèmes nationaux et des bases de repli potentielles.

Bien que diffuse la désertification semble s'être stabilisée dans la décennie 1990, alors que dans la décennie 2000-2010 une amélioration sensible de la pluviométrie a été enregistrée en regard des années 1970-1980-1990. Cette amélioration est toujours aussi hétérogène tant au niveau de la répartition spatiale que dans l'intensité des pluies, mais elle semble avoir été suffisante pour que l'on puisse constater sur le terrain un accroissement de la biomasse arborée en regard des maximums de dégradation enregistrés à la fin des années 1980.

Ainsi, paradoxalement, en regard des grands traumatismes qu'a connus cette région sahélienne durant les années 1970-1980-1990, et si on la compare à l'évolution moins brutale mais toujours continue des régions soudaniennes, on constate que depuis 10 ans il y a une reconstitution progressive, bien que modeste, des écosystèmes sahéliens en regard des deux dernières décennies, alors que les écosystèmes soudaniens, qui approvisionnent sans discontinuer les marchés de bois énergie et de charbon des grandes agglomérations, semblent en dégradation constante, sinon accélérée. Une preuve de cette évolution divergente a été établie au Sénégal en comparant les cartes de la moyenne de la production de biomasse des parcours naturels du Sénégal entre 1987 et 1996, d'une part et entre 1997 et 2006, d'autre part. Cartes obtenues par le Centre de suivi écologique à partir d'inventaires annuels sur sites de contrôle et traitement d'images.

Ce paradoxe est important à souligner, car dans le cadre des mécanismes carbone, MDP et REDD, ceci pose des problèmes spécifiques en particulier lorsqu'il s'agit de déterminer le/les scénarios de référence et la période de référence historique de base.

Nous avons déjà vu que le scénario de référence est la dynamique (physique et économique) d'occupation ou d'usage des sols qui se serait naturellement imposée en l'absence des mécanismes financiers « carbone ». Souvent la caractérisation de ce scénario de référence se fait à partir de l'analyse des dynamiques historiques enregistrées dans le passé immédiat, mais il est clair que la référence historique dépend étroitement de la durée de la période analysée. Ainsi, dans le cadre de la mise en œuvre d'une démarche REDD, si la période 1990-2005 sert de référence, l'estimation du bilan de carbone valorisable qui en découlera sera très différente de ce qu'elle aurait été si le scénario de référence intégrait la situation qui prévalait avant les grandes sécheresses.

Ces difficultés sont spécifiques aux régions sèches ou arides, car les stress hydriques dans les zones sèches ou arides ont évidemment plus d'impact physiologique que dans les zones humides. De ce fait, les causes anthropiques de la déforestation et de la dégradation sont dans les zones humides parfaitement différenciables d'une cause climatique et le choix de la période de référence historique ne rencontre pas les mêmes difficultés qu'en zone sèche.

Ainsi, paraît-il assez probable que la dynamique du taux de déforestation / désertification / dégradation de la zone sylvo-pastorale durant les 15 ou 20 prochaines années enregistre un accroissement de la biomasse durant cette période en regard de la période de référence 1990-2005 (contrairement à la zone soudanienne). Même si les facteurs d'ajustement à l'analyse historique peuvent tempérer tout cela, les pays de zones sèches risquent, donc, d'être défavorisés dans l'établissement de leur bilan valorisable financièrement, si les grandes déforestations/désertifications dues aux grandes sécheresses des années 1970 et 1980 ne sont pas prises en compte dans la durée de la période historique d'évaluation.

Pour surmonter cela, il faudrait que les méthodologies de détermination des scénarios de référence se fassent dans une cohérence inter-États écorégionale (exemples pays du CILSS/Igad/GMV) et pas uniquement sur des considérations de zones humides.

DYNAMIQUES ET POTENTIALITÉS DE SÉQUESTRATION CARBONE  
DANS LA ZONE SYLVO-PASTORALE

**Stocks et flux moyens à l'échelle de biomes :**  
**exemple d'un pays sahélien**

Il n'a pas été fait ici de recherche bibliographique systématique dans le domaine sahélien des pays adhérents à la GMV. Pour les pays du CILSS, les données les plus complètes et structurées par biome ou par écorégion semblent avoir été réalisées au Sénégal dans le cadre du projet Socsoom/CSE/USGS-Eros. Ces données ont fait l'objet d'une publication de Woomeer P. L. *et al.* (2004) intitulée « Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal ». Dans le tableau du dessous, il est reproduit pour chaque biome sénégalais les stocks moyens de carbone par hectare et les flux moyens par hectare et par an entre 1965 et 2000.

Tableau 3.  
Stocks et flux moyens de carbone par hectare en fonction des biomes sénégalais.

Average Carbone Stocks 2000 per ha			Sénégal	Average carbon Flux 1965/2000				
Biomass	Soil 0-40 cm	Cumulated	Biome./land use	Cover km <sup>2</sup>	Carbon Stocks tC/ha		Average Cflux* tC/ha/yr	
tC/ha	tC/ha	tC/ha		1965	2000	1965	2000	1965/2000
14,3	23,4	37,7	Savanna	147 258	138 927	48,2	37,7	- 0,302
9,3	19,9	29,2	Agricultural parkland	34 030	42 660	44,5	29,2	- 0,437
60,5	35,6	96,1	Dryland and gallery forest	8 765	5 434	149,1	96,1	- 1,515
3,0	16,1	19,1	Shrubland	3 584	4 487	19,1	19,1	- 0,001
0,0	0,0	0,0	Open water	1 969	2 193			
2,3	21,7	24,0	Bare sand and soil	1 528	3 511	24,9	24,0	- 0,026
31,2	90,1	121,3	Mangrove forest.	1 189	837	133,9	121,3	- 0,361
0,0	0,0	0,0	Marsh and wetland	1 067	1 222			
0,0	0,0	0,0	Human settlements	431	552			
13,8	22,6	36,4	Total	199 823	199 823	51,0	36,4	

\* Evaluation average carbon flux per ha on land which did not changed of use between 1965 and 2000.  
À partir des données de Woomeer P.L. *and al.* – *Journal of Arid Environments*, Senegal – 2004

Toujours dans le cadre de ce projet, les dynamiques de carbone au niveau de chaque grand domaine climatique du Sénégal, ont été estimées par le projet Socsoom en fonction des grands modes de valorisation des terres. C'est insuffisant pour monter des projets « carbone », mais cela donne une idée des enjeux carbone dans les pays à domaine climatique similaire.



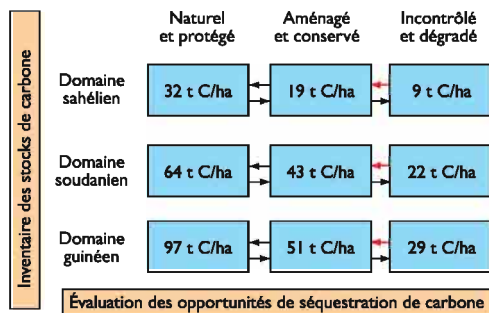


Figure 6.  
Évaluation des dynamiques potentielles « carbone »  
dans les domaines climatiques sénégalais  
(projet Socsom).

#### Potentialités de séquestration carbone dans la zone sylvo-pastorale

Concernant les évaluations de la biomasse ligneuse, de nombreuses études ponctuelles ont été réalisées dans chaque pays sahélien sans avoir été publiées dans des revues scientifiques.

Il existe, au moins, deux publications de qualité qui recensent les équations allométriques existantes.

Il s'agit :

- d'une récapitulation, faite par Malick S. et Picard N. (octobre 2006), des méthodes d'estimation de la productivité, et des tarifs de cubage pour les savanes d'Afrique de l'ouest, dans le cadre d'une « Évaluation rapide des ressources en bois énergie » publiée dans les Guides techniques du Predas ;

- et d'une revue, qui analyse les données sur le continent au sud du Sahara faite en juin 2011, intitulée « Estimating Tree Biomass of Sub-Saharan African Forests: a Review of Available Allometric Equations » et réalisée par Henry M., Picard N. *et al.* dans Silva Fennica.

Les tarifs de peuplements et tarifs spécifiques ont, souvent, été réalisés dans le cadre d'inventaires destinés à évaluer les ressources forestières d'un bassin d'approvisionnement. La plupart ne prend pas compte que la strate aérienne et pas la biomasse globale, puisque l'objet n'était pas d'établir des comptabilités dans les compartiments du pool « carbone ». Les modalités techniques d'inventaire sont généralement variables selon les opérateurs. Ces travaux sont de qualité hétérogène et les modalités de construction de ces équations ne sont pas toujours précises.

Pour tenter d'apporter des éléments objectifs aux potentialités de séquestration dans la zone sylvo-pastorale les références sont également peu nombreuses. Pour les pluviométries inférieures à 400 mm, les équations de productivité de J. Clément (1982) et M. Sylla (1997) sont à la marge de leur représentativité.

Cependant, deux publications sont néanmoins intéressantes à titre documentaire :  
 – « Carbon stocks in Senegal's Sahel Transition Zone » par P. L. Woomer *et al.* (2004) ;  
 – « La finance carbone dans les parcours pastoraux – une évaluation des potentiels dans les parcours collectifs » par T. Tennigkeit et A. Wilkes (2008).

La publication de Woomer s'appuie sur des mesures réalisées sur cinq sites le long d'un transect Nord/Sud de 120 km dans la zone sylvo-pastorale sableuse du Sénégal dont la pluviométrie va de 280 mm à 400 mm. Alors que le rapport de Tennigkeit et Wilkes est une synthèse bibliographique portant sur les parcours pastoraux de la planète.

Les principaux résultats de Woomer *et al.* sont résumés dans les tableaux et figures qui suivent.

(Le carbone du sol est mesuré sur une profondeur de 40 cm).

Tableau 4.  
 Caractéristiques de la végétation sahélienne.

Transitional vegetation	— Coordinates —		Cover (%)	— Canopy — Height (m)
	Longitude	Latitude		
Degradated grassland	- 14,51	16,09	0,8	1,19
Grassland	- 13,97	16,11	4,5	1,22
Grassland w/ shrubs	- 14,47	16,38	6,0	2,53
Shrubby grassland	- 14,21	15,59	15,9	1,74
Shrubby w/ trees	- 14,58	15,24	27,7	2,16
LSD <sub>0,05</sub>			9,5	0,48
Overall mean			10,9	1,76

Tableau 5.  
 Stocks de C dans la biomasse et le sol

Transitional vegetation	Biomass	Soil C	Total C
		— kg C ha <sup>-1</sup> —	
Degradated grassland	419	11 562	11 981
Grassland w/ isolated shrubs	905	11 728	12 633
Grassland w/ scattered shrubs	3 068	16 333	19 401
Shrubby grassland	1 983	25 347	27 330
Shrubland w/ scattered trees	6 543	(25 347)	31 890
LSD <sub>0,05</sub>	1 714	n.s.	1 715
Overall mean	2 584	17 254	20 647

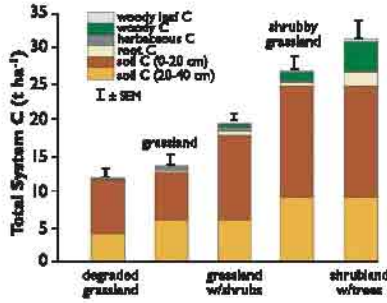


Figure 7. Pool carbone dans les différentes formations végétales de la zone sylvo-pastorale.

À partir de ces données, les initiatives qui peuvent être mises en œuvre pour limiter cette dégradation (en assurant une meilleure protection des stocks actuels et en restaurant les terres dégradées) permettraient d'accroître les stocks de 800 kg C/ha pour chaque pourcentage de couverture arborée gagnée. Par ailleurs, des plantations utilisant les espèces locales encore présentes plus au sud pourraient permettre un accroissement de l'ordre de 41 t C/ha au niveau du pool carbone. Sinon, l'analyse des données du CSE-Socsom permet d'évaluer les dynamiques de dégradation et de reforestation aux estimations suivantes.

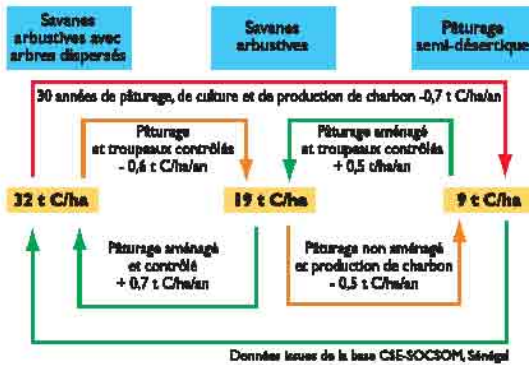


Figure 8. Dynamique carbone dans la zone sylvo-pastorale sénégalaise.

Il est cependant nécessaire d'analyser les données disponibles dans chaque pays de la GMV pour juger de la pertinence des données de Woomer en regard des contextes respectifs.

L'analyse de Tennigkeit et de Wilkes, est basée sur une analyse bibliographique globale autour des parcours sylvo-pastoraux et des prairies dans toutes les zones climatiques. Ce qui leur a permis de dresser le tableau des potentialités suivantes.

Tableau 6.  
Potentiel de fixation de carbone selon les pratiques de gestion des parcours pastoraux.

Pratique de gestion	Nbre de points de donnée*	Changement moyen en tCO <sub>2</sub> e/ha/an ou changement total en %C	Min-max
Culture de végétation	c : 31 % : 7	9,39 tCO <sub>2</sub> e/ha 0,56 %	[- 12,1 ; 46,50] tCO <sub>2</sub> e/ha/an [0,11 ; 1,14] %
Changement d'utilisation des terres	c : 65 % : 22	0,40 tCO <sub>2</sub> e/ha 0,87 %	[- 103,78 ; 15,03] tCO <sub>2</sub> e/ha/an [- 0,7 ; 4,2] tCO <sub>2</sub> e/ha/an
Gestion des pâturages	c : 55 % : 21	2,16 tCO <sub>2</sub> e/ha 0,13 %	[- 12,47 ; 33,44] tCO <sub>2</sub> e/ha/an [- 2,03 ; 5,42] %
Fertilisation	c : 2 % : 68	2,68 tCO <sub>2</sub> e/ha 0,47 %	[- 11,73 ; 9,09] tCO <sub>2</sub> e/ha/an [- 1,23 ; 4,8] %
Maîtrise des incendies	c : 2 % : 1	2,68 tCO <sub>2</sub> e/ha 0 %	[3,67 ; 4,11] tCO <sub>2</sub> e/ha/an 0 %

\* (c = Nombre d'études mentionnant la teneur en carbone, % = Nombre d'études mentionnant le % de carbone)  
T.Tennigkeit et A.Wilkes, 2008

Les fourchettes et donc les incertitudes sont importantes et il est nécessaire de vérifier et d'affiner en fonction des contextes sylvo-pastoraux et des expériences techniques de chacun.

- Pour ce qui concerne la gestion des pâturages, l'aménagement des unités pastorales qui intégrerait un pâturage planifié dans le temps en fonction d'une certaine charge animale peut soit être adapté et se pérenniser de façon à conserver un équilibre carbone à peu près constant, soit permettre un accroissement de la biomasse en contrôlant la pression sous la capacité de charge des pâturages. Sinon des mises en réserve fourragère avec fermeture à la pâture du bétail se conçoivent ; la seule référence vient de Mongolie intérieure sur des pâturages dégradés où des fixations de carbone allant de 2,35 à 4,33 tCO<sub>2</sub>e/ha/an ont été mesurées. Mais d'une manière générale, les données concernent la strate herbacée et le sol, alors que l'inconnu vient essentiellement de la biomasse ligneuse.

- La restauration de pâturages herbacés *via* des cultures de graminées et de légumineuses peut donner des résultats spectaculaires surtout si la couverture arborée est prise en compte. Dans la province du Cap oriental en Afrique du Sud, les fourrés à *Portulacaria afra* peuvent stocker 245 tC/ha dont 68 % dans le sol et 20 % dans la biomasse aérienne et l'on estime que la restauration de ces fourrés peut permettre de fixer jusqu'à 15,4 tCO<sub>2</sub>/ha/an.

- La fertilisation ne peut être envisagée que dans des cas très limités et très particuliers et évidemment pas sur des surfaces importantes. Dans tous les cas de figure, il faut voir si cette action va effectivement permettre une fixation nette de carbone ou pas, et si cette action est économiquement viable. L'émission de N<sub>2</sub>O est un risque à prendre en compte.

- Le changement d'usage des terres est évidemment susceptible d'impacter fortement le bilan de carbone. Les conversions pâturages/terres agricoles sont émetteurs nets de carbone et peuvent diminuer les stocks de carbone du sol de 59 %. Les conversions pâturages/forêts peuvent accroître le stockage de carbone au niveau du pool carbone de façon très significative, mais cela dépend des techniques et des espèces utilisées, et du succès de l'opération.
- Globalement, Grace *et al.* (2006) estime que les feux de savanes émettent chaque année entre 1,8 et 15,4 Gt CO<sub>2</sub>e par an. Mais la gestion des incendies et notamment, les feux précoces peuvent induire un bilan positif en regard du scénario de référence. Ainsi, Scholes et Merwe (1996) estiment que cette gestion rationnelle peut permettre de fixer entre 0,9 et 9,2 tCO<sub>2</sub>/ha et par an.

De manière générale, il y a donc de réelles possibilités qui pourraient être valorisées par des projets, mais la construction de ces projets et l'appropriation de ces actions par les populations sont essentielles. Par ailleurs, il faut veiller à ce que la définition forêt puisse effectivement permettre une captation de ces opportunités à travers la biomasse et les sols. Ceci exigerait notamment une couverture arborée minimale qui, tout en étant compatible avec l'intérêt des autres régions écologiques et en cohérence avec les capacités techniques de l'imagerie satellitaire, permettrait d'intégrer l'évolution des savanes arbustives et arborées (15 ou 20 %).

## **Changement d'utilisation des terres pour les quarante prochaines années**

### **MODÈLE IMAGE ET SCÉNARIOS SRES**

Une étude récente (O. Hamel et V. Dameron – janvier 2012) intitulée « Dynamiques de plantations et disponibilités des terres en Afrique : dynamiques historiques (1970-2010) opportunités nouvelles, prospectives (2010-2050) », a permis d'estimer les changements d'utilisation des terres en Afrique pour les quarante ans à venir en utilisant le modèle IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment [Alcamo *et al.*, 1994]). En fonction de scénarios d'entrée du SRES (Special Report on Emission Scenarios [GIEC, 1990]), ce modèle permet de décrire l'évolution socio-économique (population, PIB, demande alimentaire, énergétique, matériaux, etc.), les usages des sols et les émissions diverses qui en découlent, ainsi que les impacts et rétroactions tant au niveau du climat que des sols.

Les simulations couvrent la période 1970-2100. La calibration des modules d'occupation et usage des terres et de l'industrie a été réalisée à partir des données réelles de la période 1970-1995. Les implémentations proposées par IMAGE fournissent un jeu annualisé de données économiques, démographiques, climatiques et une grille d'évolution de la couverture des sols, sur un maillage de 0,5° X 0,5°. L'Afrique a été divisée dans le modèle en quatre grandes régions, et les besoins et productions alimentaires et économiques sont d'abord évalués à l'échelle de ces régions, avant d'être complétés si besoin par des échanges entre régions ou continents. La couverture des sols est produite par le module « Terrestrial Environment System », qui comprend deux composantes, un modèle d'occupation des terres (Land Cover Model), et un modèle de végétation terrestre (Terrestrial Vegetation Model).

Le principe du modèle est le suivant. À tout moment, une végétation potentielle est déterminée pour chaque cellule de la grille, en fonction des conditions pédo-climatiques. À chaque pas de temps, les demandes en nourriture humaine et animale, agro-carburants, bois d'œuvre sont calculées. Elles sont affectées aux cellules déjà consacrées à la production agricole, en fonction des rendements possibles. Si la demande est satisfaite, les cellules agricoles non utilisées ou devenues impropres reviennent progressivement à la végétation naturelle qui lui était affectée. Si la demande n'est pas satisfaite par les cellules agricoles existantes, de nouvelles cellules sont converties, en fonction de divers critères (proximité, productivité potentielle, population, etc.), jusqu'à satisfaction de la demande ou épuisement des surfaces disponibles.

Dans le cadre de l'étude CASCADE, nous ne sommes pas intervenus sur le « noyau dur » du modèle IMAGE lui-même, mais nous avons utilisé les données de sortie mises à disposition pour la mise en œuvre de scénarios d'évolution proposés par l'équipe du SRES.

Les sorties du système Environnement-Terrestre en fonction des scénarios SRES sont alors utilisées pour évaluer les changements d'utilisation des terres et notamment, les terres disponibles pour des B&R. Les évaluations de disponibilités concernent des terres qui autant que possible ne viennent pas en concurrence avec d'autres usages. Nous avons regroupé les cellules élémentaires du modèle (0,5° x 0,5°) par pays, introduisant des frontières où le modèle n'en considérerait pas (sauf entre les quatre régions pour l'Afrique). Lorsque les surfaces des pays sont importantes, les résultats sont alors statistiquement significatifs, mais lorsqu'elles sont trop faibles il y a un risque de biais statistique. Les cellules élémentaires correspondent approximativement à 250 000 ha à hauteur du domaine sahélien.

L'équipe du SRES a considéré quatre familles de scénarios (A1, A2, B1 et B2) de développement économique, social et donc environnemental. Elles correspondent à quatre tendances possibles de type « business as usual ». Les politiques de base de chaque scénario sont décrites et construites autour de deux axes principaux : le premier couvre les types de développement selon que la globalisation ou la régionalisation s'est géographiquement imposée ; et le second axe prend en compte les orientations de ce développement selon que les valeurs « matérielles et économiques » ou les valeurs « sociales et écologiques » ont été adoptées (voir figure 9 et voir en annexe 1 la description des grandes familles de scénarios socio-économiques du SRES).

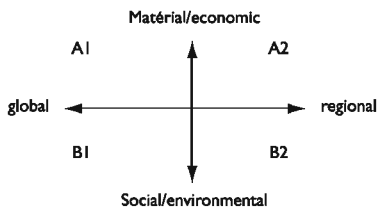


Figure 9.  
Schéma conceptuel des familles de scénarios.

En simulant l'impact des familles de scénario, ce sont les familles A2 et B1 qui systématiquement apportent en 2050 les résultats les plus contrastés au niveau des terres agricoles, des terres agricoles abandonnées et des savanes. En conséquence, ce sont les estimations faites à partir de ces deux familles d'hypothèses qui figureront dans les tableaux des résultats qui suivront.

Les terres que nous avons considérées comme éligibles pour des reboisements (autres que de bois de feu) répondent aux caractérisations suivantes :

- les forêts et les forêts dégradées ne sont pas considérées comme éligibles ;
- les terres cultivées, les terres pâturées intensivement, ou les anciennes jachères ne sont pas éligibles ;
- en revanche, lorsque les besoins agricoles régionaux sont satisfaits ou que les rendements diminuent du fait d'une perte de fertilité importante, les terres agricoles abandonnées (terres cultivées et terres pâturées intensivement) sont éligibles ;
- les prairies extensives, définies comme des terres dont la productivité herbacée potentielle est inférieure à 25 % du maximum mondial, sont considérées comme éligibles sous réserve d'une pluviométrie suffisante et de la préservation des intérêts des pasteurs ou des agropasteurs ;
- les savanes ont une grande variabilité de couverts végétatifs, mais la surface arborée moyenne retenue par le modèle IMAGE pour ce biome est de 50 %. Nous avons retenu comme éligibles pour des plantations forestières 25 % de ces surfaces ;
- les prairies arborées sont, dans les zones sèches, considérées comme ayant un couvert arboré de 30 %. Pour tenir compte du caractère broussailleux de ces surfaces, il a été considéré qu'environ 1/3 des surfaces non arborées pouvait être éligible, soit environ 20 % de cette catégorie ;
- les brousses définies dans le modèle ayant une couverture moyenne de 60 % avec des arbustes, ont été exclues de l'éligibilité ;
- enfin, lorsque la densité de population est supérieure ou égale à 80 habitants au km<sup>2</sup>, il a été considéré qu'aucune terre ne pouvait être éligible.

#### **VALORISATION DU MODÈLE POUR LA ZONE D'INTERVENTION DE L'APAGMV**

La cible privilégiée de l'APAGMV concerne la gamme pluviométrique 200 mm-400 mm que l'on qualifie de secteur sahélo-saharien dans le domaine climatique sahélien. Cette fenêtre climatique est évidemment très étroite et correspond à la zone de prédilection du sylvo-pastoralisme. Cette zone est la première zone touchée en cas de sécheresse. Toute baisse de la pluviométrie rejaillit immédiatement sur le tapis herbacé et sur le fourrage vert de la couverture ligneuse. Ces écosystèmes disposent également d'une capacité de résilience à la sécheresse remarquable, sauf lorsque l'impact anthropique (troupeaux et feux) est trop fort. La variabilité pluviométrique (spatiale et interannuelle) est une règle intangible qui ne fait que s'accroître avec le changement climatique. Les prairies extensives selon la nomenclature du modèle dominant largement.

Des opérations de plantations dans ces zones climatiques comportent des risques d'échec importants. Elles nécessitent une rigueur technique irréprochable dans la

qualité des plants en pépinière, dans les systèmes de plantation adoptés (période de plantation, sylviculture, contrôle des troupeaux et des feux) et dans l'approche organisationnelle. Les produits attendus sont en général de subsistance (fourrage, bois, avec des produits alimentaires de survie et quelques produits de rente comme la gomme arabique), mais les productivités sont faibles. En dehors de quelques niches spéculatives (vergers gommiers, vergers fruitiers, vergers fourragers, huiles alimentaires ou bio-oil, réserve de chasse ou parcs) qui ne peuvent être envisagées que sur des sites bénéficiant de conditions favorables rares, les investissements d'aménagement ou de plantations ne peuvent pas être pris en charge par des groupes privés qui recherchent une rentabilité financière sur le court ou le moyen terme.

Ainsi, les interventions dans ces zones ne peuvent être mises en œuvre que pour maintenir ou développer soit des produits et services vitaux pour les populations locales, soit des services environnementaux d'intérêt national, continental ou planétaire.

Les investissements à la base ne peuvent être pris en charge que par des fonds publics (nationaux ou APD), ou des fonds fiduciaires. Mais, dans tous les cas, l'intégration des populations pour la réalisation des travaux et pour la gestion des ressources est impérative.

Ainsi, si l'on veut tenter d'évaluer les potentialités de reboisement de ces zones, la notion de « prairies extensives » n'est pas une entrée viable et pertinente, du fait des conditions extrêmes, même si des actions ponctuelles peuvent être couronnées de succès. Ainsi, dans cette gamme climatique les nomenclatures qui ont une réelle signification sont : les surfaces herbacées des écosystèmes de savane (avec les principes comptables définis dans le cadre de l'analyse), et les terres agricoles mises en culture qui ont été par la suite abandonnées.

Dans les évaluations qui suivent, nous avons élargi la gamme pluviométrique au secteur sahélo-soudanien qui correspond à la gamme 400 mm-600 mm. Pour deux raisons, d'abord parce que la base pluviométrique du modèle mérite sans doute d'être actualisée et qu'ensuite les dérèglements climatiques mondiaux ont un impact fort sur ces zones qui peuvent basculer dans des stress hydriques comparables à ceux du secteur sahélo-saharien.

Ainsi le tableau 7 présente les résultats consolidés pour toutes les gammes pluviométriques des pays de l'APAGMV.

Dans la gamme pluviométrique inférieure à 600 mm, les écosystèmes qui présentent des variations importantes sont, notamment, les terres agricoles, les couverts forestiers et arbustifs et les terres agricoles abandonnées. Le tableau 8 concentre les données sur ces écosystèmes en fonction des scénarios A2 et B1.

Dans la gamme climatique inférieure à 600 mm, entre 2000 et 2010 la diminution du couvert arboré ou arbustif varie entre 5 et 7 millions d'hectares sur l'ensemble des pays de l'APAGMV. Cela représente une diminution de 11 % à 15 % en moyenne sur dix ans.

• Selon le scénario défavorable A2, la dynamique de déforestation entre 2010 et 2030 se maintient au même rythme qu'entre 2000 et 2010, puisque le couvert diminuerait



Tableau 7.  
Changement d'usage des terres selon le modèle IMAGE 2.2 sur l'ensemble des gammes climatiques intéressant les pays de l'APAGMV.

Surfaces en millions d'hectares		Scénario B1											Scénario A2										
Surface totale cumulée	Surface cumulée hors déserts et hors zones bâties	Gamme Pluviométrique	Surface dans la gamme pluviométrique (Hors déserts)	Années	Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :					
										Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes						Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes			
1004	553	0-400 mm	103,0	2000	0,5	1,5	18,4	82,6	79,9	0,0	75,7	4,2	0,4	1,3	18,6	82,9	80,5	0,0	76,3	4,3			
				2010	1,9	4,6	16,2	82,3	79,4	0,0	75,7	3,7	1,7	4,6	16,5	82,7	80,1	0,0	76,3	3,8			
				2030	1,8	5,3	16,3	83,8	79,7	1,8	74,0	3,9	3,4	9,8	14,0	82,8	78,1	0,0	74,9	3,3			
				2050	0,2	0,4	18,4	88,7	81,6	5,4	71,8	4,4	2,3	7,2	14,0	86,8	77,1	4,3	69,6	3,3			
		400-600 mm	97,7	2000	5,2	11,1	28,0	53,3	52,7	0,0	49,0	3,8	5,4	11,8	27,0	52,9	52,3	0,0	48,7	3,6			
				2010	5,8	14,3	25,1	52,6	50,7	0,0	47,6	3,1	6,6	16,1	22,4	52,1	50,1	0,0	47,3	2,8			
				2030	4,8	14,1	23,3	55,7	50,8	2,9	45,3	2,6	7,8	22,9	15,0	51,4	45,6	0,0	43,6	2,0			
				2050	2,9	6,0	23,7	65,1	54,5	10,5	41,9	2,1	7,7	23,9	13,5	52,2	41,3	1,5	38,5	1,3			
		Sous-total < 600 mm	200,7	2000	5,7	12,6	46,4	135,9	132,7	0,0	124,7	8,0	5,8	13,0	45,7	135,8	132,9	0,0	125,0	7,9			
				2010	7,7	18,9	41,3	135,0	130,1	0,0	123,3	6,8	8,3	20,7	38,9	134,8	130,2	0,0	123,6	6,6			
				2030	6,6	19,5	39,6	139,5	130,5	4,7	119,3	6,5	11,2	32,7	29,0	134,2	123,8	0,0	118,5	5,3			
				2050	3,1	6,4	42,1	153,8	136,1	15,9	113,7	6,5	10,0	31,1	27,5	139,0	118,5	5,8	108,1	4,6			
		600-800mm	97,2	2000	18,2	35,5	16,6	27,0	24,4	0,0	23,7	0,7	18,7	37,5	14,1	26,9	24,3	0,0	23,7	0,6			
				2010	16,7	39,8	13,3	27,4	23,1	0,0	22,0	1,1	17,8	40,4	11,7	27,2	22,6	0,0	21,7	0,9			
				2030	14,4	42,4	10,9	29,5	23,5	1,7	20,6	1,2	16,0	45,7	8,3	27,0	20,7	0,0	20,0	0,7			
				2050	11,5	24,1	10,9	50,5	39,9	19,1	19,7	1,2	15,3	47,5	7,1	27,1	18,8	0,0	18,0	0,8			

Surfaces en millions d'hectares		Scénario B1										Scénario A2									
Surface totale cumulée	Surface cumulée hors déserts et hors zones bâties	Gamme Pluviométrique	Surface dans la gamme pluviométrique (hors déserts)	Années	Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbusif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km²	Dont :			Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbusif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km²	Dont :			
										Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes						Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes	
Pays de la Grande Muraille Verte	800-1000mm	97,2	2000	18,2	35,5	16,6	27,0	24,4	0,0	23,7	0,7	18,7	37,5	14,1	26,9	24,3	0,0	23,7	0,6		
				2010	16,7	39,8	13,3	27,4	23,1	0,0	22,0	1,1	17,8	40,4	11,7	27,2	22,6	0,0	21,7	0,9	
				2030	14,4	42,4	10,9	29,5	23,5	1,7	20,6	1,2	16,0	45,7	8,3	27,0	20,7	0,0	20,0	0,7	
				2050	11,5	24,1	10,9	50,5	39,9	19,1	19,7	1,2	15,3	47,5	7,1	27,1	18,8	0,0	18,0	0,8	
				2000	25,5	50,2	58,8	23,6	19,2	0,0	4,3	15,0	25,0	50,1	58,9	23,8	19,3	0,0	4,3	15,1	
					2010	25,0	59,7	51,9	21,1	14,8	0,0	3,4	11,4	27,2	61,8	48,1	20,5	14,1	0,0	3,4	10,7
					2030	24,1	71,1	40,6	21,9	15,0	3,7	3,1	8,2	27,8	79,2	34,1	16,1	9,1	0,0	2,8	6,3
					2050	29,5	61,6	41,0	25,2	15,6	5,7	2,8	7,1	27,4	84,6	28,5	16,6	9,3	2,3	2,8	4,1
				Sous-total > 600 mm	2000	61,8	121,1	92,1	77,5	68,1	51,6	16,4	0,0	62,5	125,0	87,1	77,5	68,0	0,0	51,6	16,3
					2010	58,5	139,2	78,4	75,9	61,1	47,4	13,7	0,0	62,9	142,7	71,5	74,8	59,4	0,0	46,8	12,6
					2030	52,9	155,9	62,3	80,9	62,0	7,2	44,3	10,5	59,8	170,7	50,7	70,2	50,6	0,0	42,8	7,7
					2050	52,5	109,7	62,7	126,2	95,5	43,9	42,3	9,4	58,1	179,7	42,7	70,8	46,9	2,3	38,9	5,7
	Total	2000	67,5	133,7	138,5	213,3	200,7	0,0	176,3	24,4	68,3	138,1	132,7	213,4	200,9	0,0	176,6	24,3			
		2010	66,2	158,2	119,7	210,9	191,1	0,0	170,7	20,5	71,1	163,3	110,3	209,6	189,6	0,0	170,4	19,2			
		2030	59,6	175,4	102,0	220,3	192,5	12,0	163,6	16,9	71,0	203,4	79,7	204,4	174,4	0,0	161,3	13,0			
		2050	55,6	116,1	104,8	280,0	231,6	59,8	156,0	15,8	68,1	210,8	70,2	209,8	165,4	8,1	147,0	10,3			

Tableau 8.  
Évolution des principaux écosystèmes des pays de l'APAGMV en 2000, 2010, 2030 et 2050 selon le modèle IMAGE en fonction des scénarios A2 et B1 du SRES.

Scénario	Couvert forestier et arbustif				ZONES	Emprise agricole				ZONES	Terres abandonnées				Scénario
	2000	2010	2030	2050	en Mha	2000	2010	2030	2050	en Mha	2000	2010	2030	2050	
A2	19	16	14	14	P < 400 mm	0,4	1,7	3,4	2,3	P < 400 mm	0,0	0,0	0,0	4,3	A2
B1	18,4	16,2	16,3	18,4		0,5	1,9	1,8	0,2		0,0	0,0	1,8	5,4	B1
A2	27,0	22,4	15,0	13,5	400<P<600mm	5,4	6,6	7,8	7,7	400<P<600mm	0,0	0,0	0,0	1,5	A2
B1	28,0	25,1	23,3	23,7		5,2	5,8	4,8	2,9		0,0	0,0	2,9	10,5	B1
A2	45,7	38,9	29,0	27,5	P < 600mm	5,8	8,3	11,2	10,0	P < 600mm	0,0	0,0	0,0	5,8	A2
B1	46,4	41,3	39,6	42,1		5,7	7,7	6,6	3,1		0,0	0,0	4,7	15,9	B1
A2	87,1	71,5	50,7	42,7	P > 600mm	62,5	62,9	59,8	58,1	P > 600mm	0,0	0,0	0,0	2,3	A2
B1	92,1	78,4	62,3	62,7		67,5	66,2	59,6	55,6		0,0	0,0	7,2	43,9	B1

Les terres abandonnées correspondent aux terres anciennement cultivées et aux pâturages dégradés

de dix millions d'hectares en 20 ans (- 1,5 % an). Entre 2030 et 2050, la dynamique de déforestation ralentit considérablement, pour atteindre une diminution du couvert de 1,5 Mha sur vingt ans.

- Selon le scénario favorable B1, la dynamique de déforestation 2000-2010 serait divisée par cinq entre 2010-2030 puisque la déforestation atteindrait 1,7 million d'hectares sur vingt ans. Entre 2030 et 2050, la dégradation serait jugulée puisque le couvert arboré et arbustif gagnerait 2,5 Mha en regard de 2030 et dépasserait la couverture de 2010.

Il est intéressant de comparer ces estimations avec celles des gammes climatiques supérieures à 600 mm. Entre 2000 et 2010, la déforestation sous ces pluviométries tournerait autour de 15 Mha, soit entre 15 et 17 % du couvert sur 10 ans.

- Selon le scénario défavorable A2, entre 2010 et 2030, la dynamique de déforestation et de dégradation diminuerait légèrement pour atteindre 20,7 Mha en 20 ans (- 29 %), soit - 1,45 % an.

Sur la période 2030-2050, il y aurait une décélération de la dégradation importante, puisque la diminution du couvert atteindrait 8 Mha sur 20 ans (- 16 %), soit - 0,8 % an.

- Selon le scénario B1 favorable, entre 2010 et 2030, la dynamique de dégradation diminuerait de moitié, puisque la dégradation atteindrait 16 Mha en 20 ans, soit - 1 % an. Entre 2030 et 2050, la dégradation serait totalement stoppée.

On constate d'une manière générale que les dynamiques de déforestation et de dégradation sont plus importantes dans le domaine soudanien que dans le domaine sahélien, ce qui corrobore ce qui a été dit précédemment.

Concernant l'évolution de l'emprise agricole, celle-ci est en cohérence avec les caractéristiques des scénarios A2 et B1 (démographies et modes de développement).

Pour les pluviométries inférieures à 600 mm, le scénario A2 développe une forte pression sur les terres qui s'accroît jusqu'en 2030. Entre 2030 et 2050, la dynamique de conquête de nouvelles terres disparaît et des terres agricoles sont abandonnées. Le scénario B1 suit des courbes comparables, mais les impacts sont nettement moins accentués, car si en 2010 les surfaces emblavées sont comparables, en 2030 le scénario B1 présente des surfaces deux fois plus faibles qu'A2. En 2050, la différence est de un à trois.

Pour les pluviométries supérieures à 600 mm, entre 2010-2030-2050, les emprises sont presque similaires, quels que soient les scénarios. Pour A2, il y a cependant une diminution lente et continue entre 2000 et 2050, alors que pour le scénario B1 les diminutions des emprises sont plus importantes entre 2030 et 2050.

Pour ce qui concerne l'abandon des terres agricoles ou l'abandon des terres surpâturées, le scénario A2 n'enregistre ce type de dynamique qu'entre 2030 et 2050, alors que dans le cadre d'un scénario de type B1 elle apparaît déjà entre 2010 et 2030.

En 2050, les surfaces concernées selon A2 seraient de 6 M ha, contre 16 M ha pour un scénario type B1 dans la gamme inférieure à 600 mm.

Pour la gamme supérieure à 600 mm, le scénario A2 ne prévoit toutefois qu'une déprise de 2 M ha en 2050, alors qu'elle est de 44 M ha pour B1.

Le tableau 9 présente un récapitulatif qui concerne uniquement les terres disponibles susceptibles d'être reboisées. Dans cet objectif, la gamme inférieure à 600 mm n'intègre que les terres disponibles correspondant aux surfaces herbacées des savanes (SHS) et les terres agricoles abandonnées (TA) ; alors que la gamme supérieure à 600 mm intègre les SHS, les TA, mais aussi les prairies extensives (PE).

Tableau 9.  
Récapitulatif des terres disponibles pour des opérations de plantations pour toutes les gammes pluviométriques des pays de l'APAGMV.

Mha		< 400 mm				400-600 mm		Tot < 600 mm		Mha		600-800 mm				800-1000 mm		> 1000 m		Tot > 600 mm	
2000	SHS+ TA	4,2		3,8		8,0		T.D.	24		24		19		68						
2010	SHS + TA	3,7		3,1		6,8		T.D.	23		23		15		61						
2030		B1	B2	B1	B2	B1	B2		B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2					
	SHS+TA	5,7	3,3	5,5	2,0	11,2	5,3	T.D.	23	21	23	21	15	9	62	51					
	dont TA	1,8	0,0	2,9	0,0	4,7	0,0	dont TA	2	0	2	0	4	0	7	0					
2050		B1	B2	B1	B2	B1	B2		B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2					
	SHS+TA	9,8	7,6	12,6	2,8	22,4	10,3	T.D.	40	19	40	19	16	9	96	47					
	dont TA	5,4	4,3	10,5	1,5	15,9	5,8	dont TA	19	0	19	0	6	2	44	2					
SHS + TA = Surfaces herbacées des savanes + Terres agricoles abandonnées																					
T.D. = Terres disponibles = SHS + TA + Prairies extensives																					

On retiendra qu'en première approximation, la fourchette s'établit entre 5 et 10 millions d'hectares de terres disponibles dans la gamme inférieure à 600 mm pour réaliser des plantations de masse avec des chances de succès. Ceci représente grossièrement entre 2,5 et 5 % des terres de cette gamme. Ces potentialités pourraient doubler dans un second temps. Ceci ne veut pas dire que ponctuellement, il ne puisse pas y avoir de plantations sur des échelles plus réduites avec de fortes implications des populations. Mais ceci montre que le choix des terres à reboiser *via* des plantations doit être réalisé après analyse approfondie. Rappelons également que dans le cadre de ces zones climatiques, les plantations ne sont que l'une des techniques à mettre en œuvre, parmi beaucoup d'autres qui rentrent toutes dans le cadre des aménagements sylvo-pastoraux et agro-sylvo-pastoraux.

En annexe 2 de ce chapitre (voir tableau 10), les résultats sont présentés pour chaque pays de l'APAGMV sur la gamme pluviométrique inférieure à 600 mm, en fonction des scénarios B1 et A2.

## Discussion autour des contraintes à surmonter pour que les opérations liées à l'APAGMV puissent bénéficier des opportunités financières liées au « carbone »

En regard des critères d'éligibilité qui ont été explicités précédemment, le présent sous-chapitre reprend les critères qui impliquent une déclinaison particulière dans les modalités de mise en œuvre de la GMV, si l'agence panafricaine et les gouvernements souhaitent profiter des opportunités financières liées aux mécanismes « carbone ».

### **Cohérences théoriques entre les concepts à la base de la GMV et les principes qui régissent les mécanismes « carbone »**

Né d'une forte volonté politique, le concept GMV était présenté à l'origine comme structuré autour de la mobilisation des populations et autour de fonds essentiellement nationaux. C'est toujours vrai aujourd'hui, mais la réalité montre que des moyens financiers extérieurs sont indispensables.

L'objectif global de la GMV est la contribution à la lutte contre l'avancée du désert et à la mise en valeur des zones saharo-sahéliennes par une gestion durable des ressources naturelles et la lutte contre la pauvreté.

Les objectifs spécifiques de la GMV sont :

- la conservation/valorisation de la biodiversité ;
- la restauration/conservation des sols ;

- la diversification des systèmes d'exploitation ;
- la satisfaction des besoins domestiques (en produits ligneux et/ou non ligneux) et la promotion d'activités génératrices de revenus ;
- l'amélioration de la séquestration du carbone dans les couvertures végétales et les sols.

Bien que les termes de « Grande Muraille Verte » soient sujets à controverse (car l'image d'une muraille, au sens propre, rappelle des interventions des années 1970-1980 dont on connaît parfaitement les limites), on peut parfaitement les adopter pour des raisons politiques ou médiatiques. Pour vaincre les réticences, les réalisations doivent donc démontrer la volonté des agences nationales de travailler en étroite synergie avec les populations et couvrir des opérations d'aménagement intersectorielles qui ne se limitent pas aux seules plantations.

Les critères d'éligibilité aux mécanismes financiers liés au « carbone » et les modalités concrètes de mise en œuvre des projets, sans être universels, sont intégrateurs et recouvrent des principes qui sont admis par tous, au Sud comme au Nord. Ces principes sont en adéquation avec les principes conceptuels théoriques à la base de la GMV. Les difficultés potentielles viennent donc plus dans les modalités pratiques de mise en œuvre de ces principes que dans les concepts théoriques. Ces modalités touchent aussi bien la planification, les techniques utilisées que les modes de gouvernance. Il faut souligner que la douzaine d'objectifs techniques prévus dans le cadre de la GMV correspond parfaitement aux opérations susceptibles d'être définies dans cette zone écologique pour satisfaire une démarche REDD+.

L'intérêt de tenter de s'inscrire dans le cadre de ces mécanismes « carbone » est en pratique double : nouvelles ressources financières complémentaires aux ressources classiques existantes et méthodologies de mise en œuvre et de suivi pour vérifier périodiquement la conformité des réalisations avec les objectifs dans la durée. Les objectifs de la GMV et les principes des mécanismes « carbone » étant très proches, les modalités d'intervention de la GMV peuvent donc être évaluées à travers les méthodologies des mécanismes « carbone ».

Il serait donc dommage que l'ambition affichée par la GMV ne soit pas structurée de façon à couvrir cette démarche REDD+. Ainsi, l'ambition nationale (et inter-États) exprimée à travers la GMV, pourrait trouver une assise et une écoute internationales plus fortes si elles étaient présentées à travers le prisme d'une politique nationale en matière de REDD+ dans une déclinaison spécifique à la zone silvo-pastorale.

### **Quels changements depuis les expériences des années 1970 et 1980 ?**

Nous avons à notre disposition des techniques ou des systèmes de production qui peuvent être évidemment améliorés, mais en général ce sont les contraintes socio-économico-politiques et organisationnelles qui empêchent une mise en œuvre efficace de ces techniques. Une excellente technicité ne peut s'exprimer dans un contexte de planification insuffisante, de moyens techniques minimaux, de responsabilisation insuffisante des populations et de faiblesse extrême des services forestiers ou du développement dans ces régions.

Certes, des connaissances scientifiques complémentaires sont nécessaires, mais l'expérience du développement montre qu'il est inutile de renforcer exagérément un maillon de la chaîne qui tracte le développement, car la rupture se fera sur l'un des maillons resté faible. Dans l'idéal, il faut donc renforcer simultanément tous les maillons de la chaîne et procéder par touches successives, plutôt que d'intervenir massivement pour renforcer un maillon.

En pratique, sauf perte de technicité que l'on peut parfois constater tant au niveau des techniques de pépinières que des systèmes de production, les techniques et leur limite d'application actuellement connues doivent permettre de réaliser des plantations avec plus de 90 % de chance de succès, quelles que soient les conditions climatiques rencontrées. Ceci ne veut pas dire que n'importe quel objectif peut être atteint. Ceci signifie simplement que ce sont les conditions naturelles qui imposent le tempo et non pas la programmation des hommes qui reste théorique (mais qui reste cependant indispensable). D'une manière générale, on sait ce qu'il ne faut pas faire, mais on ne sait pas toujours éviter ce qu'il ne faut pas faire.

La difficulté est de se préparer pour profiter de toutes les opportunités climatiques (par définition faiblement prévisibles dans ces gammes climatiques) en faisant le maximum si les conditions sont favorables, mais en se refusant à réaliser les objectifs techniques si les conditions ne sont pas favorables, même si matériellement on a la capacité de le faire. C'est cette révolution là qu'il faut faire et ceci exige une organisation matérielle et humaine spécifique qui ne peut qu'associer étroitement les populations locales. Les services techniques traditionnels et les mécaniques bancaires classiques ne sont pas structurés ni préparés pour appréhender le problème selon cette approche.

Cela ne veut pas dire que des recherches ne doivent pas être menées ou poursuivies (économie de l'eau ; microbiologie des sols ; amélioration génétique ; évaluation de la biomasse ; modélisation de la dynamique des écosystèmes sous l'impact des feux, de la sécheresse, du bétail, des besoins de l'agriculture, des besoins énergétiques ; diversification et valorisation des ressources de la biodiversité ; nouveaux modèles de gouvernance ; etc.). Cela signifie simplement que pour des terres du domaine forestier ou pastoral public, en dehors des recherches fonctionnelles de base en amont, on ne peut travailler efficacement sur les systèmes de production hors de contextes socio-économico-politiques appropriés. C'est le cadre de la gouvernance de terrain qui apportera le plus de performance, même si certaines externalités (dues par exemple à la mondialisation) continueront de peser sur toutes les stratégies mises en œuvre.

Durant cette dernière décennie, les innovations majeures susceptibles de changer les données du problème sont les suivantes :

– les outils législatifs pour une décentralisation et une régionalisation existent dans de nombreux pays. Ils sont certes perfectibles, mais ils autorisent un transfert de la gestion des ressources naturelles au profit des populations. Ceci implique un réaménagement profond des modalités des services publics déconcentrés et des moyens nouveaux pour assurer cette transition. Tout cela demande une approche intersectorielle qui doit naturellement s'inscrire dans l'aménagement des territoires des collectivités sous

réserve d'une cohérence nationale. Or depuis l'adoption des textes, les États et les bailleurs de fonds ne se sont guère mobilisés pour donner vie à cette opportunité ;

- de nouveaux mécanismes financiers, tels les mécanismes « carbone » ou des mécanismes liés aux services environnementaux (biodiversité, eau, etc.), émergent. L'intérêt principal de ces mécanismes réside dans leurs complémentarités potentielles avec les autres sources de financements classiques (en particulier, l'Aide publique au développement – APD) avec comme caractéristique principale, non une substitution au financement habituel, mais une complémentarité :

- opportunité d'un financement (lié au carbone) qui devient significatif, une fois que les financements type APD se désengagent ;
- pérennisation des financements sur des périodes de 30 ans non renouvelables ou 20 ans renouvelables deux fois (modalités propres au MDP/LULUCF, mais modalités du REDD+ non encore déterminées) ;
- maîtrise financière exclusivement entre les mains des porteurs nationaux (porteurs publics et privés), avec réhabilitation du rôle de l'État et des services nationaux.

Ce sont des innovations qui sont de nature à modifier les bases du développement et qui impactent les programmes de recherche. Mais ces innovations à elles seules ne garantissent pas le succès :

- les acteurs du développement vont devoir assimiler une nouvelle donne économique et organisationnelle en réajustant leur place et leur rôle ;
- tout aménagement qu'il soit forestier, pastoral ou sylvo-pastoral n'est viable que s'il est inscrit dans un aménagement du territoire concerté à l'échelle au minimum d'une collectivité territoriale, mais en respectant nécessairement une cohérence régionale et *a fortiori* nationale ;
- chaque mécanisme financier induisant des effets pervers, il faut les prévoir pour les conjurer, ce qui nécessite la mise en œuvre de nouvelles méthodologies pour assurer équité, transparence, rigueur aux échelles appropriées (collectivités territoriales, nationales, sous-régionale, continentale et planétaire) ;
- enfin, il faut aussi être capable de mesurer, suivre et contrôler, ce qui nécessite des efforts de recherche importants.

### **Critères d'éligibilité aux mécanismes MDP/REDD+ nécessitant une adaptation des modalités opérationnelles de mise en œuvre de la GMV**

#### « LIMITES » DU PROJET

L'inscription des démarches et/ou des projets dans le cadre d'une parfaite description d'une cible territoriale ou sectorielle, des bénéficiaires visés ou encore des systèmes de production à améliorer, est cruciale. Ce critère d'éligibilité correspond en général à la notion de limite ou de frontière qui s'applique à tous les mécanismes, qu'ils soient du type MDP ou du type REDD+ et que l'on s'adresse à des marchés ou des fonds contraignants ou volontaires. Il est incontournable, car de lui dépendent en particulier la pertinence des scénarios de référence (ou « ligne de base »), les évaluations de bilans de carbone (« additionnalité ») qui répondent à des méthodologies



rigoureuses, les suivis et le contrôle sur des périodes pouvant atteindre 30 ans (non renouvelables) ou 20 ans (renouvelables deux fois, donc 60 ans). Sans de parfaites délimitations, les notions de « fuite ou de pertes associées » ne peuvent pas non plus être instruites et l'absence de double valorisation financière pour une même tonne de carbone dont l'émission est évitée ne peut pas être garantie. Bref, il ne peut y avoir de valorisation financière pertinente.

Nous avons vu que l'approche « programmatique » ou « sectorielle » des projets MDP permettait de monter des projets sans que la localisation des interventions futures soit identifiées avant le démarrage, mais cette approche nécessite une caractérisation des cibles qui balise parfaitement les frontières des interventions. C'est pareil pour le REDD+.

Or le projet GMV est, jusqu'à maintenant, présenté comme étant la mise en œuvre d'une douzaine d'objectifs techniques sur une bande de 10-15 km de largeur qui traverse tous les pays dans la zone climatique correspondant aux 100-400 mm de pluie.

Que, pour des raisons médiatiques en cohérence avec l'image d'une muraille, la cible soit présentée comme une bande transversale est compréhensible. Mais pour valoriser au maximum les investissements qui seront faits, induire une dynamique reproductible, favoriser l'intégration des populations et pérenniser les activités dans des aménagements du territoire cohérent, il paraît important de circonscrire cette bande aux frontières des collectivités territoriales traversées (au minimum celles qui correspondent aux communautés rurales ou pastorales, aux cercles ou aux cantons).

Ceci permettra à la fois :

- de se conformer aux politiques de décentralisation des pays, ce qui permettra d'inscrire les aménagements et opérations techniques dans le cadre des schémas d'aménagement et des plans d'occupation ou d'affectations des sols des collectivités ;
- mais aussi tenter de capter les opportunités financières liées aux mécanismes « carbone » en respectant les critères d'éligibilité.

Ce sont des raisons d'efficacité méthodologique et opérationnelle, de synergie, de gouvernance, de baisse des coûts de transaction, qui induisent cette approche par collectivité territoriale. Ainsi, la bande de 15 km de large se transformera-t-elle en un chapelet de collectivités territoriales localisé sur l'axe de la bande, qu'il conviendra d'aménager.

C'est donc une ambition forte qui nécessitera des stratégies nationales d'intervention qui seront basées sur une typologie ou une stratification de la zone sylvo-pastorale traversée selon les écosystèmes, les sols, les populations et le statut foncier des terres et l'existence ou non d'un aménagement du territoire à l'échelle des collectivités. Mais cette stratégie permettra de multiples synergies avec des projets déjà existants et s'inscrira dans la durée.

Le choix des communes rurales pilotes sera déterminé par des considérations à la fois politique et technique. Les opérations pourraient probablement se dérouler en trois phases distinctes : la première serait la prise en charge de quatre ou cinq communes rurales pilotes selon leur représentativité sur la bande GMV dans chaque pays ; la deuxième serait l'extension aux autres communes rurales de la bande

initiale et enfin, la troisième serait le déploiement de ces opérations sur toutes les communes de la zone sylvo-pastorale. Cela prendrait du temps, mais il faut programmer ce déploiement sur des périodicités de 20 ou 30 ans, qui correspondent aux périodes de comptabilité des projets « carbone ».

#### DÉFINITION DE LA « FORÊT »

Nous avons vu précédemment qu'un cadre conventionnel portant sur la définition des écosystèmes ligneux à partir de laquelle on parle de « forêt » ou de terres forestières a été adopté dans le Protocole de Kyoto. C'est un critère d'éligibilité important pour les démarches « projets » du type MDP et aussi pour les démarches « politiques » du type REDD+.

La définition « forêt » qui a été, ou qui sera, adoptée par chaque pays a, ou aura, un impact sur les potentialités de chacun des mécanismes.

L'idéal aurait voulu que, tout en conservant un cadre analogue à celui du Protocole de Kyoto, les pays regroupés dans des ensembles du type CILSS, Igad ou APAGMV puissent adopter des définitions « forêt » dans la cohérence de leurs zones agro-écologiques. Mais, sauf mobilisation au sein des négociations internationales, la définition est nationale, ce qui impose un compromis pour tenir compte de toutes les diversités écologiques de chaque pays, en ayant le souci de préserver les intérêts régionaux et en tenant compte des cibles divergentes de chaque mécanisme.

Précédemment, il a été souligné les impacts induits par cette définition selon les orientations stratégiques poursuivies par chaque mécanisme. La difficulté vient en effet du fait que les boisements et reboisements éligibles au MDP ne peuvent être réalisés que sur des terres non forestières depuis le 31 décembre 1989. Cela induit de choisir la fourchette haute des indicateurs de la « forêt » (Couverture arborée et hauteur à maturité) pour maximiser la surface des « terres non forestières » seule susceptible de bénéficier des crédits du MDP pour les boisements. Alors qu'au niveau du REDD qui valorise les émissions que l'on évite d'émettre en limitant la déforestation et la dégradation, on a intérêt à maximiser les surfaces forestières, pour accroître le champ d'application.

Ces divergences ont des conséquences très différentes selon les gammes climatiques.

Ainsi, dans la zone sylvo-pastorale, il est certain que les pays qui ont adopté des couvertures arborées de 30 % pour sa définition « forêt » vont se priver de toute application du REDD dans cette zone puisque la couverture arborée n'atteint que rarement des couvertures à maturité de 30 %. La zone sylvo-pastorale n'ayant pas de forêt selon la définition du MDP, on ne peut donc pas parler de déforestation ni de dégradation forestière.

Il est vrai qu'inversement, la totalité de la zone sylvopastorale pourrait en théorie bénéficier des crédits pour des plantations ou des régénérations assistées. Mais il est illusoire de penser profiter de cette éligibilité dans cette gamme climatique.

Les pays directement touchés par cette remarque sont le Sénégal, le Mali et le Niger. Certains d'entre eux peuvent encore réajuster leur définition. Sinon, il faut simplement espérer qu'un recours sera possible.

Globalement pour les pays adhérents à l'APAGMV qui disposent d'une gamme climatique s'étendant au moins jusqu'au domaine soudanien (600 à 1 000 mm), le compromis acceptable serait une couverture arborée autour de 20 %, une hauteur à maturité autour de 3,5 m et une surface minimale de 1 hectare.

Si inversement, une définition par zone écologique était admise, celle qui conviendrait pour la zone sylvo-pastorale sahélo-saharienne serait d'adopter une couverture arborée de 10 %, une hauteur à maturité de 2 m et une surface minimale de 1 ha.

Il faut également noter que si les mécanismes « carbone » du type projet MDP et démarche politique du type REDD étaient étendus aux terres agricoles (MDP système de productions annuelles ou REDD++), le problème de la définition de la forêt ne se poserait pas avec autant de conséquences et d'incertitudes.

#### ÉLIGIBILITÉ DES IMPACTS ANTHROPIQUES ET INÉLIGIBILITÉ DES IMPACTS CLIMATS

Normalement, seuls les « additionnalités » anthropiques sont éligibles. Les conséquences d'accidents naturels, qu'ils soient climatiques ou autres, ne sont pas en théorie éligibles. Cette discrimination ne pose pas de problème dans les gammes pluviométriques à forte pluviométrie, car l'impact du changement climatique n'est pas perceptible en termes de biomasse pour qu'il puisse être confondu avec l'impact anthropique. Mais dans les zones sèches, il y a le plus souvent superposition des deux.

Les évaluations directes par télédétection et inventaires (préconisées par défaut par le GIEC) sont plus faciles que dans les autres zones climatiques, mais il y a confusion des impacts anthropiques et climat.

Pour dissocier les deux, les méthodologies directes que préconise le GIEC par défaut peuvent être améliorées. Il semble, en effet, nécessaire de développer des méthodologies indirectes d'évaluation basées sur l'empreinte carbone des produits ligneux consommés par les populations ou l'empreinte « équivalent carbone » par tête de bétail tropical. Ces évaluations d'un bilan de carbone selon une « approche par produit », plutôt qu'une approche spatiale systématique, permettraient de mieux cibler l'origine de la désertification, tout en permettant une valorisation des résultats au profit d'un développement durable à l'échelle des collectivités territoriales.

#### APPROCHE NATIONALE DU REDD+ OU APPROCHE SOUS-NATIONALE

Concernant la démarche de type REDD+, les décisions de Cancun ont confirmé que cette démarche devait être nationale, mais qu'il était autorisé en phase de transition de développer une approche sous-nationale, sous réserve d'une consolidation nationale ultérieure.

Si une consolidation globale au niveau national est effectivement un objectif pertinent, par contre sa mise en œuvre d'emblée à l'échelle nationale ne l'est pas pour un grand nombre de raisons pratiques. En particulier, l'un des enjeux majeurs d'un mécanisme comme le REDD+ est qu'il puisse devenir un atout pour le développement. Or une comptabilité « carbone » qui serait établie à l'échelle nationale à partir des seules méthodes du GIEC n'a que peu d'intérêt pour une valorisation en faveur du développement. Inversement, des approches circonscrites à la zone sylvo-pastorale

dans les limites des collectivités territoriales nécessiteraient des bilans de carbone dans ses frontières. Ce qui permettrait de tisser des liens directs entre les politiques mises en œuvre et les acteurs du développement que sont notamment les populations et qui ouvre des stratégies de redistribution de la rente « carbone » intéressantes.

Si une démarche REDD+ était mise en œuvre dans le cadre de la GMV, l'approche ne pourrait donc être que sous-nationale, circonscrite à la zone sylvo-pastorale et inscrite dans les limites des collectivités, telles que les régions ou bien les collectivités comme les communautés rurales, les cercles ou les cantons. Ceci est un argument supplémentaire en faveur de l'évolution de la notion de « bande » vers une notion de chapelet de collectivités territoriales.

Il faut également noter, que des approches supranationales pour les démarches REDD+ sont parfaitement possibles. Ainsi en théorie, l'APAGMV pourrait parfaitement être le porteur d'une démarche REDD+ sur la zone sylvo-pastorale pour l'ensemble des pays adhérents. Il ne faut pas sous-estimer les difficultés, mais il faudrait analyser cette éventualité sous un angle politique et sous un angle opérationnel.

#### **APPROCHE INTERMINISTÉRIELLE ET POLITIQUES DE DÉCENTRALISATION**

Ces questions ont déjà été abordées sous une approche technique et opérationnelle, mais elles peuvent l'être aussi selon les contraintes financières.

La question de compatibilité entre l'APD et les éventuels crédits « carbone » a déjà été traitée précédemment. C'est une question importante, car une bonne articulation entre les crédits issus de l'APD et ceux susceptibles d'être obtenus à travers les mécanismes financiers liés au carbone, doit se concevoir dès l'origine. Chaque type de financement doit respecter son mandat, ses spécificités et prendre en compte ses limites.

D'un côté, les bailleurs institutionnels type APD ne peuvent ni se substituer aux États, ni financer des projets au-delà de la phase d'investissement initial, c'est-à-dire 5 ou 8 ans. D'un autre côté, le budget des États du Sud n'ont, pour l'instant, qu'une marge très étroite pour prendre le relais de l'APD et assurer l'entretien, le suivi et le contrôle des aménagements. La vocation privilégiée des crédits « carbone » pourrait donc être la gestion durable, c'est-à-dire le financement des soutiens aux organisations représentatives des populations (collectivités publiques et groupements d'intérêts économiques) et aux services techniques déconcentrés et décentralisés, ainsi qu'au service en charge de l'actualisation des aménagements des collectivités territoriales.

Tout cela nécessite qu'il y ait une bonne compatibilité et une bonne articulation entre tous les mécanismes « carbone ». Les agences nationales GMV pourraient en être chargées dans les limites des territoires qui leur sont dévolus. Mais ceci nécessite aussi que ces agences soient parfaitement intersectorielles et pluridisciplinaires. Cela implique probablement, à l'image des autorités chargées de la mise en place des démarches REDD+, que ces agences soient plus interministérielles qu'elles ne le sont aujourd'hui. Elles devraient notamment être en relation directe avec les services chargés de la mise en œuvre de l'aménagement des territoires et de la décentralisation. Les fortes implications des plus hautes autorités politiques des pays induisent cette inter-ministériarité, même si dans les faits ces agences sont le plus souvent localisées au sein des ministères de l'Environnement.

## ÉVALUATION TECHNIQUE DES VARIATIONS DE BIOMASSE POUR LES MÉCANISMES REDD

Les évaluations de biomasse herbacée *via* la télédétection sont des techniques couramment utilisées dans la zone sylvo-pastorale. Les évaluations de biomasse ligneuse sont plus difficiles, et exigent des résolutions fines pour percevoir le couvert arboré. Mais la conjugaison d'évaluation *via* des images satellitaires (optiques et radars) avec des inventaires de terrain, est souvent plus facile que pour les zones plus humides.

Mais, en complémentarité des techniques directes d'évaluation territoriale des écosystèmes, il est pertinent de développer des techniques d'évaluations indirectes de la pression exercée sur les écosystèmes sylvo-pastoraux, *via* le suivi de la pression animale. La dynamique animale est directement liée à trois ou quatre facteurs principaux : la disponibilité de l'eau en toute saison, la disponibilité de matière azotée en saison sèche, une disponibilité de matière sèche et une couverture sanitaire appropriée. Ainsi, dans un écosystème donné l'équilibre de la végétation dans le cadre d'un aménagement sylvo-pastoral est conditionné par la disponibilité des quatre indicateurs précédents. Leur connaissance permet d'évaluer la capacité de charge de ces unités pastorales et modéliser l'empreinte « carbone » de chaque unité de bétail tropical. Ainsi, un suivi approprié du nombre de têtes de bétail pourrait permettre d'évaluer la dégradation des écosystèmes de façon probablement plus précise que les seules évaluations par télédétection et inventaires de terrain. C'est une voie prometteuse, qui au-delà de l'évaluation d'un bilan de carbone, intéresse directement la mise en œuvre d'un développement durable à l'échelle des territoires pastoraux. L'approche « empreinte carbone » doit également être étendue pour tous les produits issus des écosystèmes naturels ou cultivés en évaluant les émissions des systèmes de production.

## Conclusion

La conception théorique initiale de la GMV, indépendamment des réalisations faites depuis quelques années, peut être en adéquation avec une démarche REDD+ appliquée à une écorégion qui s'identifierait à la zone sylvo-pastorale d'un domaine climatique correspondant au secteur sahélo-saharien.

Indépendamment de l'intérêt financier potentiel de capter des crédits supplémentaires (et surtout complémentaires) aux crédits classiques du type Aide publique au développement, ces mécanismes induisent des approches structurantes pour la mise en œuvre des politiques nationales.

Pour tenter de capter les opportunités de type MDP ou pour s'inscrire dans une démarche REDD+, il y a toute une série de réflexions techniques à entreprendre pour rapprocher les politiques nationales de développement dans cette zone avec les critères et modalités méthodologiques des différents mécanismes « carbone ».

Parmi tous les concepts et modalités actuels de la GMV, la notion de « bande de quinze kilomètres de large » est la plus discutable, car lourde de conséquences pour assurer la durabilité des aménagements. La mutation de cette bande en chapelet de « collectivités territoriales » permettrait à elle seule de lever ces contraintes. Elle offrirait, en outre, un cadre favorable à la mobilisation des populations, à l'encadrement technique et à la gouvernance locale en permettant des synergies naturelles avec les politiques d'aménagement du territoire et de décentralisation. Cet ajustement resterait cependant conforme aux objectifs panafricains et nationaux, et serait par ailleurs fidèle aux concepts théoriques de base qui président à la GMV.

En regard des décisions de Cancun portant sur le caractère national de la démarche REDD+, avec toutefois possibilité d'adopter une approche sous-nationale en phase de construction, la pertinence d'une approche écorégionale circonscrite aux limites de collectivités territoriales est avérée.

Cette possibilité est importante et nécessaire, mais il importe que chaque État rédige prioritairement un cahier des charges national qui s'imposera aux bailleurs multi ou bilatéraux, à tous les opérateurs institutionnels publics ou privés (association de producteurs, ONG, groupes privés) et à toutes les collectivités publiques.

Ce cahier des charges permettra de réguler les modalités de mise en œuvre des différents projets, afin de préserver les compatibilités entre les projets locaux et les collectivités territoriales, entre les mécanismes contraignants ou volontaires (marchés ou fonds) et entre les méthodologies, en vue d'une consolidation nationale harmonieuse. Il permettra aussi d'inscrire toutes les initiatives dans le respect des politiques nationales et clarifiera les marges de manœuvre des autorités décentralisées et déconcentrées.

Cela ne veut pas dire que toutes les opérations de terrain devront être des clones, mais qu'une harmonisation à une échelle correspondant à des territoires de collectivité soit assurée. C'est une nécessité si l'on ne veut pas que l'État se retrouve devant une grande diversité d'initiatives qui ne permettra pas, plus tard, d'induire efficacement de nouvelles politiques publiques.

Bien que l'ambition de la GMV soit déjà très haute, ce qui est proposé accroît encore cette ambition, puisqu'elle élargirait le champ d'intervention aux territoires des collectivités locales.

L'occasion d'assurer synergie et pérennité entre les politiques nationales d'aménagement du territoire et de décentralisation et les politiques nationales de développement par des financements innovants est une opportunité rare qu'il faut saisir.

Par ailleurs, les pays de l'APAGMV, en jouant cette carte qui leur permet d'adopter un cadre méthodologique structurant du type « développement propre » ou « développement vert », pourraient bénéficier d'une ouverture internationale et d'une écoute plus importante pour réaliser leurs ambitions.

Enfin, une volonté affichée des pays de l'APAGMV de bénéficier des opportunités REDD+ pour asseoir ses politiques rééquilibrerait les négociations internationales qui sont focalisées sur les zones humides.

Bien que par tonne de carbone par hectare les séquestrations soient très éloignées des performances des zones équatoriales, les séquestrations globales sur l'ensemble des savanes sèches (et donc leur impact sur le climat) sont comparables. Les arguments à faire valoir sont donc multiples : significativité du rôle des écosystèmes semi-arides dans la stabilisation du climat ; premier cercle des victimes du changement climatique et synergie évidente avec les autres conventions de Rio ; volonté politique multinationale forte d'agir ; réformes législatives successives qui ont déjà doté la plupart des pays d'outils juridiques indispensables ; données scientifiques et techniques réelles qui ne demandent qu'à être affinées puis valorisées ; et enfin urgence d'interventions.

## Bibliographie

- Alcamo J. 1994.  
*IMAGE 2.0 - Integrated Model to Assess the Global Environment*, Kluwer Academic 69 Publishers, Dordrecht, 1994.
- Alcamo J., Leemans R. and Kreilemen E. (Eds),  
*Global change scenarios of the 21st century. 70 Results from the IMAGE 2.1 model*, Pergamon & Elseviers Science. London, 1998.
- Brown, B., Gillespie, A. J. R., and A. E. Lugo,  
"Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data,"  
*Forest Science*, vol. 35, no. 4, pp. 881–902, 1989.
- Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques 1992 -  
[http://unfccc.int/files/cooperation\\_and\\_support/cooperation\\_with\\_international\\_organizations/application/pdf/convfr.pdf](http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/cooperation_with_international_organizations/application/pdf/convfr.pdf)
- CCNUCC / Le Protocole de Kyoto 1997  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>
- PNUE / FFEM / CILSS / MEPN Sénégal / CarboSahel – mai 2009.  
Séminaire de concertation sahélo-soudanien portant sur les mécanismes financiers liés aux négociations post-Kyoto 2012 :  
Draft Soumission des vues des Pays des Pays des domaines climatiques sahélien et soudanien destinée à la SBSTA 30 de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- Dameron V., Barbier C., Riedacker A., juin 2005.  
Les enjeux mondiaux du stockage de CO<sub>2</sub> par des plantations forestières sur des terres agricoles et de la réduction des consommations d'énergies fossiles par l'utilisation de leurs biomasses.  
IDDRI – CLIP 2005
- FCCC/CP/2001/13/Add.1 Accord de Marrakech : Définitions, modalités, règles et lignes directrices relatives aux activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie visées par le Protocole de Kyoto.  
<http://unfccc.int/resource/docs/french/cop7/cp713a01f.pdf>
- FCCC/CP/2009/11/Add.1 - UNFCCC Decision 4/CP.15: Methodological guidance for activities relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries  
<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=11>].
- FCCC/CP/2007/6/Add.1  
Décision 1/CP.13 : Plan d'action de Bali  
<http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/fre/06a01f.pdf#page=3>
- FCCC/CP/2007/6/Add.1  
Décision 2/CP.13 : Réduction des émissions résultant du déboisement dans les pays en développement: démarches incitatives  
<http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/fre/06a01f.pdf#page=8>

FCCC/KP/CMP/2007/9/Add.1

Décision 2/CMP.3 : Nouvelles directives concernant le mécanisme pour un développement propre <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cmp3/fre/09a01f.pdf#page=9>

FCCC - Draft decision -/CP.16:

Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention - C. Policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries [http://unfccc.int/files/meetings/cop\\_16/application/pdf/cop16\\_lca.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf)

FCCC/KP/CMP/2010/12/Add.1

Décision 2/CMP.6

Les Accords de Cancún : Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cmp6/fre/12a01f.pdf>

FCCC/KP/AWG/2010/18/Add.1

Groupe de travail spécial des nouveaux engagements des Parties visées à l'annexe I au titre du Protocole de Kyoto : Rapport du Groupe de travail spécial des nouveaux engagements des Parties visées à l'annexe I au titre du Protocole de Kyoto sur sa quinzième session, tenue à Cancún du 29 novembre au 10 décembre 2010.

Additif II. Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie <http://unfccc.int/resource/docs/2010/awg15/fre/18a01f.pdf>

Gibbs, H.K. Brown, S.,

Geographical Distribution of Woody Biomass Carbon in Tropical Africa: An Updated Database for 2000 <http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp055/ndp055b.html>

Grace, J. San Jose, J. Meir, P. Miranda, H.S. and Montes, R.A. (2006)

Productivity and carbon fluxes of tropical savannas *Journal of Biogeography* (J. Biogeogr.) (2006) 33, 387–400

Grace, J., Malhi, Y., Higuchi, N. & Meir, P. (2001) Productivity of tropical rain forests.

Terrestrial global productivity: past, present and future (ed. by H. Mooney, J. Roy and B. Saugier), pp. 401–426. Academic Press, San Diego, CA.

Grace, J., Kruijt, B., Freibauer, A., Benndorf, R., Carr, R., Dutschke, M., Federici, S., Mollicone, D., Sanz, M., Schlamadinger, B., Sezzi, E., Waterloo, M., Valentini, R., Verhagen, J. & van Putten, B. (2003).

Scientific and technical issues in the clean development mechanism. Carbo-Europe Office, Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena.

Hall, D.O. & Scurlock, J.M. (1991)

Climatic change and productivity of natural grasslands. *Annals of Botany*, 67, 49–55.

Hamel, O. Avril 2011,

« Contraintes et opportunités des crédits « carbone » dans le contexte malien – secteurs des forêts et de l'énergie domestique » - Projet CASCADE – Afrique – 192p.

Hamel, O. Octobre 2010,

« Contraintes et opportunités des crédits « carbone » dans le contexte sénégalais – secteurs des forêts et de l'énergie domestique » - Projets PACAF & CASCADE – Afrique MEPN Sénégal – 195p.

Hamel, O. Mai 2011,

« Les Mécanismes « carbone » appliqués aux terres salées : opportunité ou fantôme ? » - Académie National des Sciences et Techniques du Sénégal & publication PNUE 2011 – 26p.

Hamel, O., Dieng, C., Niang, A., Diop, A.B., Kairé, M., Tamba, A. – juillet 2011.

« La couverture des besoins énergétiques ménagers du Sénégal par les forêts naturelles aménagées : rêve ou réalité ? » Projets PACAF & CASCADE Afrique – publication PNUE 2011. 26p.

IMAGE team :

The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios: A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21st century, RIVM CD-ROM publication 481508018, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, The Netherlands. July 2001.

IPCC:

Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry Institute for Global Environmental Strategies, Japan; 2003. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/french/ch3.pdf>



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

IPCC: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and other Land Use Institute for Global Environmental Strategies, Japan; 2006.  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol4.html>

IPCC 1998.  
Special Report on Emissions Scenarios,  
<http://www.grida.no/climate/ipcc/emissions/index.htm>

Kasulu, V., Amougou, J.A., Hamel, O., 2009, « Les pays du Bassin du Congo dans le processus de réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) : Construction de la position de la COMIFAC dans le cadre des négociations internationales » Les Forêts du Bassin du Congo – Etat des Forêts 2008 – Chapitre 11. Office de publication de l'Union européenne, 2009. Vers française & version anglaise.

Malick L. Sylla, Nicolas Picard (2006). Evaluations rapides des ressources en bois énergie. Collection "Les Guides Techniques du PREDAS". Programme Régional de promotion des Énergies Domestiques et Alternatives au Sahel (PREDAS), CILSS

Malick L. Sylla, Nicolas Picard (2008). Guide méthodologique d'inventaire forestier au Sahel. Collection "Les Guides Techniques du PREDAS". Programme Régional de promotion des Énergies Domestiques et Alternatives au Sahel (PREDAS), CILSS,

Maniatis, D. and Mollicone, D.  
"Options for sampling and stratification for national forest inventories to implement REDD+ under the UNFCCC," *Carbon Balance and Management*, vol. 5, p. 9, 2010.

Picard, N., (2006).  
Mieux connaître la productivité des savanes. Sciences au Sud, n° 36, p.3.

Picard, N., Ballo, M., Dembélé, F., Gautier, D., Kaïré, M., Karembe, M., Mahamane, A., Manlay, R., Ngom, D., Ntoupka, M., Ouattara, S., Savadogo, P., Sawadogo, L., Seghieri, J., Tiveau D., (2006). Évaluation de la productivité et de la biomasse des savanes sèches africaines : l'apport du collectif SAVAFOR. Bois et Forêts des Tropiques, 60(288):75-80.

Saugier, B., Roy, J. & Mooney, H.A. (2001) Estimations of global terrestrial productivity, converging toward a single number?

Global terrestrial productivity (ed. by J. Roy, B. Saugier and H.A. Mooney), pp. 541–555. Academic Press, San Diego, CA.

Scholes, R.J. & Hall, D. (1996)  
The carbon budget of tropical savannas, woodlands and grasslands. Global change, effects on coniferous forest and grasslands. SCOPE (ed. by A.I. Breymer, I.D. Hall, J.M. Melillo and G.I. Agren), pp. 69–100. John Wiley, New York.

Scholes, R.J., Dowty, P.R., Caylor, K., Parsons, D.A.B., Frost, P.G.H. & Shugart, H.H. (2002)  
Trends in savanna structure and composition along an aridity gradient in the Kalahari. *Journal of Vegetation Science*, 13, 419–428.

Tadoum, M., Kasulu Seya Makonga, V., Boudzanga, G.C., Bouyer, O., Creighton, G.K., Hamel, O., 2011, « Négociations internationales sur le futur régime climat post 2012 : avancées de Copenhague à Cancun et retombées pour les forêts du Bassin du Congo » Les Forêts du Bassin du Congo – Etat des Forêts 2010 – chapitre 8. Office de publication de l'Union européenne, 2011. Vers française & version anglaise. Sous presse

Tennigeit, T., Wilkes, A., 2008  
La finance carbone dans les parcours pastoraux – Une évaluation du potentiel dans les parcours collectifs. World Agroforestry Center (ICRAF-Chine)

Verhoef, A., Allen, S.J., DeBruin, H.A.R., Jacobs, C.M.J. & Heusinkveld, B.G. (1996)  
Fluxes of carbon dioxide and water vapour from a Sahelian savanna. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80, 231–248.

Woodfine, A., Jauffret, S., (juin 2009)  
Etude de pré-faisabilité pour la grande muraille verte à réaliser dans le contexte de l'Initiative pour le Sahara et le Sahel (GMVSS). Etude conjointe Union Africaine/Union Européenne pour identifier la pré-faisabilité de l'Initiative de la Grande Muraille Verte pour le Sahara et le Sahel. Rapport 62 pages + annexes

Woomer, P.L., Toure, A., and Sall, M.: Carbon stocks in Sahel transition zone, *Journal Arid Environments*, 59, 499–510, 2004.

Woomer, P.L. Tieszen, L.L. Tappan, G. Toure, A. Sall, M. (2004)  
Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments* 59 (2004) 625–642.

# Annexe I

## Grandes familles de scénarios socio-économiques du SRES

*Hypothèse des scénarios.*

<b>Famille A1</b>	<b>Famille B1</b>	<b>Famille A2</b>	<b>Famille B2</b>
Stabilisation de la population (8,7 milliards en 2050 et 7,1 en 2100)	Stabilisation de la population (8,7 milliards en 2050 et 7,1 en 2100)	Croissance de la population (11,3 milliards en 2050 et 13,5 en 2100) ; ralentissement de la baisse de fertilité quand les revenus sont plus faibles	Croissance de la population (9,4 milliards en 2050 et 10,5 en 2100) ; dans certaines régions ralentissement de la baisse de fertilité quand les revenus sont plus faibles
Mondialisation très forte croissance, très haute technologie	Mondialisation forte croissance, haute technologie	Mise en valeur de l'identité régionale (culturelle) ; faible priorité environnementale	Mise en valeur de l'identité régionale (culturelle) ; très forte priorité environnementale à l'échelle locale/régionale ; non effective dans les enjeux environnementaux à l'échelle mondiale
Travail et capital dirigés par les lois du marché	Équilibre entre intervention des gouvernements et marché dans le développement économique		
Recherche du profit et des opportunités technologiques ; convergence des revenus des différentes régions ; pas de barrières au commerce	Recherche des aspects immatériels de la qualité de vie ; convergence des revenus et diffusion rapide des technologies économes vis-à-vis des ressources	Non-convergence des revenus par région et lente diffusion des technologies ; barrières commerciales dans certaines régions	Recherche des aspects immatériels de la qualité de vie ; développement économique et technologique varié suivant les régions

*Dynamique du système énergétique.*

<b>Famille A1</b>	<b>Famille B1</b>	<b>Famille A2</b>	<b>Famille B2</b>
Diminution de l'intensité énergétique due aux innovations et à un fort retour sur investissement du capital	Forte mise en valeur de l'efficacité énergétique de son approvisionnement ; économie de services	Faible taux d'innovation dans l'efficacité énergétique, dû à des barrières commerciales et des manques de capitaux	Forte mise en valeur de l'efficacité énergétique de son approvisionnement ; économie de services
La préférence pour des carburants propres et la diminution rapide des stocks entraînent la hausse des prix des carburants fossiles. Ceci permet la pénétration de techniques plus efficaces et économes vis-à-vis du carbone, tendance accélérée par la valorisation	La très forte préférence pour des carburants propres et la diminution rapide des stocks entraînent la hausse des prix des carburants fossiles. Ceci accélère encore la pénétration de techniques plus efficaces et économes vis-à-vis du carbone, tendance accélérée par la valorisation	L'usage du charbon s'intensifie dans de nombreuses régions, vu comme la plus économique des sources d'énergie disponibles, alors que le pétrole et le gaz deviennent plus chers et moins disponibles. Les options sans carbone nécessitent un investissement	Dans certaines régions la préférence pour les carburants propres et la diminution rapide des stocks entraînent la hausse des prix des carburants fossiles. Ceci permet la pénétration de techniques plus efficaces et économes vis-à-vis du carbone, tendance accélérée par la valorisation

*Dynamique du système alimentaire.*

<b>Famille A1</b>	<b>Famille B1</b>	<b>Famille A2</b>	<b>Famille B2</b>
Forte augmentation du volume d'échanges dans l'industrie agro-alimentaire	Forte augmentation du volume d'échanges dans l'industrie agro-alimentaire	Augmentation modérée du volume d'échanges dans l'industrie agro-alimentaire	Augmentation modérée du volume d'échanges dans l'industrie agro-alimentaire
Augmentation rapide de la productivité des aliments et de l'élevage	Augmentation rapide de la productivité des aliments et de l'élevage avec forte efficacité de l'usage des fertilisants	Lente augmentation de la productivité des aliments et de l'élevage	Augmentation modérée de la productivité des aliments et de l'élevage
Augmentation rapide de la consommation individuelle de produits issus de l'élevage, à mesure que le PIB augmente	La consommation individuelle de produits issus de l'élevage est 10 % plus faible que pour le scénario A1 en 2050 et 20 % en 2100	Lente augmentation de la consommation individuelle de produits issus de l'élevage, à mesure que le PIB augmente	Augmentation modérée de la consommation individuelle de produits issus de l'élevage, à mesure que le PIB augmente

Annexe 2

Tableau 10.

Changement d'usage des terres selon le modèle IMAGE 2.2 sur la gamme climatique inférieure à 600 mm de pluie au niveau des pays de l'APAGMV.  
**Ne sont considérées que les terres recevant des précipitations inférieures à 600 mm en 2000.**

Surfaces en millions d'hectares			Scénario B1									Scénario A2								
Pays participant à la Grande Muraille Verte	Surface totale du pays	Surface du pays hors zones bâties et plans d'eau et hors déserts	Années	Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			
									Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes						Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes	
Sénégal	21,2	8,0	2000	0,2	0,3	5,1	2,3	1,9	0,0	1,4	0,5	0,2	0,3	5,1	2,3	1,9	0,0	1,4	0,5	
			2010	1,2	2,3	2,8	2,2	1,8	0,0	1,4	0,4	0,3	0,5	4,5	2,4	2,0	0,0	1,4	0,5	
			2030	1,1	3,2	2,1	2,1	1,7	0,0	1,4	0,3	0,7	1,8	3,1	2,1	1,7	0,0	1,4	0,3	
			2050	0,2	0,4	2,1	5,1	3,6	1,9	1,4	0,3	0,6	1,7	3,1	2,4	1,4	0,0	1,1	0,3	
Mauritanie	106,7	37,8	2000	0,6	0,8	0,8	35,7	35,7	0,0	35,6	0,1	0,6	0,9	0,8	35,7	35,7	0,0	35,6	0,1	
			2010	0,6	1,1	0,5	35,7	35,7	0,0	35,6	0,1	0,6	1,1	0,5	35,7	35,7	0,0	35,6	0,1	
			2030	0,4	1,3	0,5	35,7	35,6	0,0	35,6	0,0	0,6	1,4	0,2	35,7	35,6	0,0	35,6	0,0	
			2050	0,5	1,0	0,5	35,9	35,9	0,3	35,6	0,0	0,6	1,7	0,2	35,7	35,6	0,0	35,6	0,0	
Mali	123,2	20,2	2000	0,3	0,5	8,9	10,5	10,5	0,0	9,0	1,5	0,5	0,7	8,6	10,5	10,5	0,0	9,0	1,5	
			2010	0,7	1,3	8,4	10,4	10,4	0,0	9,0	1,4	0,7	1,3	8,1	10,4	10,4	0,0	9,0	1,4	
			2030	0,4	1,3	8,2	10,6	10,4	0,0	8,7	1,6	1,3	3,3	5,9	10,5	10,3	0,0	9,0	1,3	
			2050	0,0	0,0	8,6	12,1	11,8	1,4	8,7	1,8	1,5	4,5	5,2	10,6	10,4	0,5	8,7	1,1	
Burkina Faso	27,1	2,7	2000	0,0	0,0	2,1	0,6	0,6	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0	2,1	0,6	0,6	0,0	0,6	0,1	
			2010	0,1	0,2	1,9	0,6	0,6	0,0	0,6	0,1	0,1	0,2	1,9	0,6	0,6	0,0	0,6	0,1	
			2030	0,1	0,2	1,7	0,8	0,8	0,0	0,6	0,2	0,2	0,4	1,4	0,8	0,8	0,0	0,6	0,2	
			2050	0,0	0,0	1,7	1,1	0,8	0,3	0,3	0,2	0,4	1,1	0,7	0,7	0,4	0,0	0,3	0,1	

Surfaces en millions d'hectares			Scénario B1									Scénario A2								
Pays participant à la Grande Muraille Verte	Surface totale du pays	Surface du pays hors zones bâties et plans d'eau et hors déserts	Années	Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			
									Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes						Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes	
Nigeria	95,5	8,3	2000	1,2	1,7	0,5	4,9	4,9	0,0	4,8	0,1	1,2	1,7	0,5	4,9	4,9	0,0	4,8	0,1	
			2010	1,0	1,9	0,5	4,9	4,3	0,0	4,3	0,1	1,2	2,0	0,5	4,9	4,3	0,0	4,3	0,1	
			2030	0,7	2,2	0,5	4,9	3,5	0,0	3,4	0,1	0,9	2,3	0,5	4,9	2,6	0,0	2,6	0,1	
			2050	0,7	1,4	0,5	5,7	2,3	0,5	1,7	0,1	0,8	2,4	0,5	4,9	1,2	0,0	1,1	0,1	
Niger	118,8	19,7	2000	0,6	0,9	10,4	7,9	7,6	0,0	5,7	2,0	0,6	0,9	10,4	7,9	7,6	0,0	5,7	2,0	
			2010	1,1	2,1	9,2	7,7	7,1	0,0	5,4	1,8	1,1	2,0	9,4	7,8	7,2	0,0	5,4	1,9	
			2030	1,5	4,3	8,2	7,6	5,9	0,0	4,2	1,7	1,8	4,5	7,6	7,6	5,5	0,0	4,0	1,6	
			2050	0,3	0,6	8,7	11,5	8,2	3,3	3,4	1,5	1,5	4,3	7,2	8,9	5,3	1,1	2,8	1,4	
Tchad	128,9	20,1	2000	0,0	0,0	0,7	19,4	19,4	0,0	19,3	0,2	0,0	0,0	0,7	19,4	19,4	0,0	19,3	0,2	
			2010	0,0	0,0	0,7	19,7	19,7	0,0	19,5	0,2	0,0	0,0	0,7	19,7	19,7	0,0	19,5	0,2	
			2030	0,2	0,6	0,5	19,3	19,3	0,0	19,3	0,1	0,1	0,2	0,7	19,7	19,1	0,0	19,0	0,1	
			2050	0,0	0,0	0,5	19,9	19,3	0,6	18,7	0,1	0,0	0,0	0,7	19,6	18,8	0,3	18,4	0,1	
Soudan	249,6	48,0	2000	1,6	4,7	0,7	41,0	39,1	0,0	38,9	0,2	1,6	4,7	1,0	40,8	39,1	0,0	38,9	0,2	
			2010	1,5	5,0	0,7	41,0	38,3	0,0	38,1	0,2	1,7	5,4	0,7	40,8	38,3	0,0	38,1	0,2	
			2030	1,0	3,0	1,2	42,9	39,6	2,0	37,3	0,3	1,8	6,2	0,7	41,0	37,4	0,0	37,3	0,2	
			2050	0,7	1,3	1,6	45,1	39,8	3,2	36,2	0,4	1,4	4,6	0,9	41,7	34,2	0,9	33,1	0,2	

Surfaces en millions d'hectares			Scénario B1									Scénario A2								
Pays participant à la Grande Muraille Verte	Surface totale du pays	Surface du pays hors zones bâties et plans d'eau et hors déserts	Années	Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			Terres cultivées	Prairies intensives	Couvert arboré ou arbustif	Surfaces disponibles (hors les déserts)	dont surfaces disponibles avec densité de pop < 80 hab/km <sup>2</sup>	Dont :			
									Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes						Abandon	Prairies extensives	Surfaces herbacées des savanes	
Éthiopie	112,5	25,5	2000	0,9	2,6	17,4	4,6	4,6	0,0	1,1	3,5	0,9	2,8	16,6	4,9	4,9	0,0	1,4	3,5	
			2010	1,2	4,0	16,7	3,9	3,9	0,0	1,1	2,8	2,2	7,0	12,7	3,7	3,7	0,0	1,4	2,3	
			2030	0,9	2,6	16,8	6,4	6,1	2,7	1,1	2,3	3,4	11,6	8,8	3,0	3,0	0,0	1,4	1,6	
			2050	0,6	1,2	17,8	8,0	7,5	4,5	0,8	2,2	3,0	9,7	8,8	5,7	4,9	3,0	0,6	1,3	
Érythrée	16,1	8,0	2000	0,4	1,1	0,0	6,6	6,4	0,0	6,4	0,0	0,4	1,1	0,0	6,6	6,4	0,0	6,4	0,0	
			2010	0,3	1,1	0,0	6,6	6,4	0,0	6,4	0,0	0,3	1,1	0,0	6,6	6,4	0,0	6,4	0,0	
			2030	0,3	0,8	0,0	6,9	5,8	0,0	5,8	0,0	0,3	1,1	0,0	6,6	5,8	0,0	5,8	0,0	
			2050	0,3	0,6	0,0	7,2	5,2	0,0	5,2	0,0	0,3	1,1	0,0	6,6	5,0	0,0	5,0	0,0	
Djibouti	4,2	2,2	2000	0,0	0,0	0,0	2,2	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,0	0,0	2,0	0,0		
			2010	0,0	0,0	0,0	2,2	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,0	0,0	2,0	0,0		
			2030	0,0	0,0	0,0	2,2	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,0	0,0	2,0	0,0		
			2050	0,0	0,0	0,0	2,2	1,7	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	2,2	1,4	0,0	1,4	0,0		
Total pays GMV	1003,7	201	2000	5,7	12,6	46,4	135,9	132,7	0,0	124,7	8,0	5,8	13,0	45,7	135,8	132,9	0,0	125,0	7,9	
			2010	7,7	18,9	41,3	135,0	130,1	0,0	123,3	6,8	8,3	20,7	38,9	134,8	130,2	0,0	123,6	6,6	
			2030	6,6	19,5	39,6	139,5	130,5	4,7	119,3	6,5	11,2	32,7	29,0	134,2	123,8	0,0	118,5	5,3	
			2050	3,1	6,4	42,1	153,8	136,1	15,9	113,7	6,5	10,0	31,1	27,5	139,0	118,5	5,8	108,1	4,6	



## Annexe 3

### Abréviations et sigles

<b>AMCC</b>	Alliance Mondiale sur le Changement Climatique
<b>AND</b>	Autorité Nationale Désignée
<b>APAGMV</b>	Agence Pan Africaine Grande Muraille Verte
<b>APD</b>	Aide Publique au développement
<b>AWG-LCA</b>	Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention
<b>AWG-KP</b>	Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex 1 Parties under the Kyoto Protocol
<b>BE/MDP</b>	Bureau Exécutif du MDP
<b>BM</b>	Banque Mondiale
<b>CASCADE</b>	Crédits carbone pour l'Agriculture, la Sylviculture, la Conservation et l'Action contre la Déforestation
<b>CC</b>	Changement Climatique
<b>CCNUCC</b>	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
<b>CDB</b>	Convention des Nations Unies sur la Biodiversité
<b>CE</b>	Commission Européenne
<b>CILSS</b>	Comité Inter Etat de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
<b>CIRAD</b>	Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CILSS</b>	Comité Inter Etat de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
<b>CNCC</b>	Comité National Changement Climatique
<b>CNULD</b>	Convention des Nations Unies pour la Lutte contre la Désertification
<b>COMIFAC</b>	Commission des Forêts de l'Afrique Centrale
<b>COP</b>	Commission des Parties d'une Convention des Nations Unies
<b>CRE</b>	Certificat de Réduction des Emissions de GES (crédit permanent)
<b>CSE</b>	Centre de Suivi Ecologique
<b>EB/CDM</b>	Executive Board of Clean Development Mechanism
<b>EOE</b>	Entité Opérationnelle Désignée
<b>FFEM</b>	Fonds Français pour l'Environnement Mondial
<b>FRA</b>	Forest Resources Assessment
<b>GCCA</b>	Global Climate Change Alliance
<b>GDT</b>	Gestion Durable des Terres
<b>GES</b>	Gaz à Effet de Serre
<b>GIEC</b>	Groupe Interprofessionnel des experts sur le Climat
<b>GMV</b>	Grande Muraille Verte
<b>GRN</b>	Gestion Ressource Naturelle

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

<b>LCD</b>	Lutte contre la Désertification
<b>LULUCF</b>	Land Use, Land Use Change and Forestry
<b>MAB</b>	Man and Biosphere
<b>MDP</b>	Mécanisme de Développement Propre
<b>MNV/MRV</b>	Mesure Notification Vérification ou Monitoring Rapportage et Vérification
<b>MM</b>	Mécanisme Mondiale
<b>MOC</b>	Mise en Œuvre Conjointe
<b>MV</b>	Marchés Volontaires
<b>NEPAD</b>	Nouveau Partenariat pour le Développement de l’Afrique
<b>OAA</b>	Organisation des Nations Unies pour l’Agriculture et l’Alimentation
<b>OMD</b>	Objectifs du Millénaire pour le Développement
<b>ONG</b>	Organisation Non Gouvernementale
<b>OSS</b>	Observatoire du Sahara et du Sahel
<b>PACAF</b>	Plan d’Action Carbone Forêt du Sénégal
<b>PANA</b>	Plan d’Action National d’Adaptation
<b>PED</b>	Pays en Développement
<b>PK</b>	Protocole de Kyoto
<b>PLCP</b>	Programme de Lutte Contre la Pauvreté
<b>PNAE</b>	Plan National d’Actions pour l’Environnement
<b>PNLP</b>	Programme National de Lutte contre la Pauvreté
<b>PNUD</b>	Programme des Nations Unies pour le Développement
<b>PNUE</b>	Programme des Nations Unies pour l’Environnement
<b>POAS</b>	Plan d’Occupation et d’Aménagement des Sols
<b>REDD</b>	Réduction des Emissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts
<b>REDD+</b>	REDD élargit à la gestion durable, la conservation des écosystèmes et l’accroissement du stock de carbone des terres forestières
<b>RPTES</b>	Programme Régional pour le Secteur des Energies Traditionnelles (PRSET)
<b>SBSTA</b>	Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
<b>SOCSOM</b>	Sequestration of Carbon in Soil Organic Matter
<b>SRAT</b>	Schéma Régional d’Aménagement du Territoire
<b>TEP</b>	Tonne Equivalent Pétrole
<b>UE</b>	Union Européenne
<b>UICN</b>	Union Mondiale pour la Conservation de la Nature
<b>URCE</b>	Unité de Réduction Certifiée d’Emission de GES (crédit temporaire)
<b>UTCUTF</b>	Utilisation des Terres, Changement d’Utilisation des Terres et Foresterie
<b>VCS</b>	Voluntary Carbon Standard
<b>VER</b>	Verified / Voluntary Emission Reductions





# Déterminants médico-sociaux de l'état de santé en milieu rural sénégalais : étude au niveau de deux sites de la Grande Muraille Verte

LAMINE GUEYE  
SIDY MOHAMET SECK  
ASSANE NDIAYE  
MAÏMOUNA TOURE  
GILLES BOETSCH

## Introduction

La santé est définie selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant « un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité : elle est le résultat d'un équilibre harmonieux mettant en jeu un ensemble de facteurs politiques, socioculturels, économiques et environnementaux » (Préambule à la constitution de l'Organisation mondiale de la santé, 1946). Cette définition rend compte d'emblée du caractère multidimensionnel des déterminants de l'état de santé qui sont d'ordre biologique, psychologique, social, culturel, voire politique.

Parmi les nombreux facteurs pouvant influencer l'état de santé, les déterminants sociaux sont souvent à l'origine des principales inégalités de santé dans la population (Lang, 2009). En effet, des écarts injustes et importants sont notés entre les différentes régions du monde ou au sein d'un même pays. Au Sénégal, le droit à la santé a été très tôt érigé en droit constitutionnel. Par la suite, le souci d'une couverture sanitaire plus équitable et juste s'est poursuivi avec l'adhésion à l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'adoption de la déclaration sur les Soins de santé primaire (SSP) à Alma Ata en 1978. Devant l'aggravation croissante de ces inégalités, l'OMS a établi en 2005 une commission d'étude sur les déterminants sociaux de la santé (Akam, 1990). Aujourd'hui, l'État sénégalais consacre environ 10 % de son budget au secteur de la santé, mais le pays n'arrive toujours pas à assurer une bonne accessibilité

aux soins sur toute l'étendue du territoire national. Les zones rurales sont les plus défavorisées à cause non seulement de contraintes géographiques et financières, mais aussi de l'absence d'un système d'éducation pour la santé (Codjia *et al.*, 2010) Cependant, pour mieux apprécier l'efficacité des politiques visant à réduire les inégalités et de façon générale à améliorer la santé des populations, il est indispensable d'avoir des éléments de mesure de l'état de santé ainsi que ses déterminants.

La réponse de l'Afrique aux défis environnementaux liés en grande partie aux changements climatiques et aux effets récurrents de la désertification passe par le projet de Grande Muraille Verte, une ceinture végétale large de 15 km reliant Dakar à Djibouti sur quelque 7 000 km.

Sur le plan sanitaire, la question suivante s'impose : « Comment le reboisement va-t-il impacter le niveau de vie des populations, l'alimentation, les pathologies ? »

Pour orienter les décisions de prévention, il nous semble utile de décrire les déterminants de l'état de santé des populations vivant au niveau de la zone de la Grande Muraille Verte au Sénégal.

## Objectif de l'étude

L'objectif de notre travail était de mesurer la santé perçue des individus vivant en milieu rural, au niveau de la Grande Muraille Verte, au Sénégal et d'identifier les principaux déterminants médico-sociaux de cet état de santé.

### Population et méthodologie

Il s'agit d'une étude transversale réalisée sur une période de deux semaines et portant sur des volontaires âgés de 15 ans et plus habitant dans deux communautés rurales (Labgar et Loughré Thiolly) appartenant à la zone agropastorale au centre du Sénégal. Elle avait été menée dans le cadre des Activités citoyennes de l'université Cheikh Anta Diop (ACU) qui regroupent un ensemble d'activités de développement (reboisement, santé, alphabétisation, informatique) que l'université menait depuis 2000 à travers le Sénégal, pour promouvoir le civisme et le sens du service communautaire chez les étudiants, mais également accompagner les communautés défavorisées dans la résolution des problèmes qui entravent leur développement. Environ dix ans plus tard, les ACU ont évolué pour aboutir à l'implantation d'un camp de vacances appelé « Ucad rurale » d'une superficie de 50 hectares, c'est l'une des plus grandes retombées des Activités citoyennes de l'université.

Sur le plan démographique, la zone d'étude avait une population estimée en 2007 à 5 363 personnes dont une majorité de femmes. Trois ethnies y cohabitent : les Peuls, les Wolofs et les Maures. Les principales activités économiques sont l'agriculture, l'élevage et le commerce. Au plan des infrastructures sanitaires, chaque communauté rurale dispose d'un poste de santé (dispensaire et maternité) qui polarise une trentaine de villages et hameaux.

Les données ont été collectées lors d'entretiens individuels directs avec un questionnaire administré par des étudiants en médecine ayant une expérience des campagnes médicales. Nous avons mesuré la perception que les participants avaient de leur état de santé de manière dichotomique : « bonne » ou « mauvaise ».

## Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats a été faite à l'aide du logiciel SPSS version 16.0. Elle a d'abord comporté une description de la distribution des différentes variables. Puis des analyses de régression logistique unie et multivariée ont permis d'identifier les variables explicatives associées à la variable dépendante (état de santé) en précisant la force de l'association (coefficient de corrélation  $r$ ) et sa significativité ( $p \leq 0,05$ ).

## Résultats

La population totale enquêtée était de 627 habitants en majorité constituée de femmes (59 %). Le taux de réponse au questionnaire était de 100 %. L'âge moyen était de 43,75 ans (16-100 ans) chez les hommes et de 38,87 ans (15-87ans) chez les femmes. Plus de la moitié des individus avaient entre 25 et 50 ans (fig. 1).

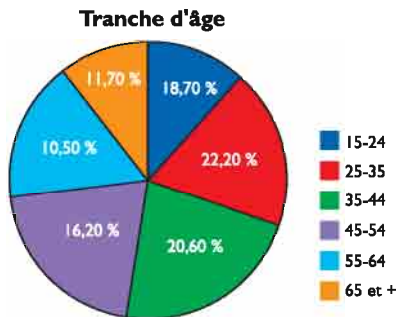


Figure 1.  
Répartition de la population d'étude en fonction des tranches d'âge.

Le poids moyen était de 59,3 kg (20-105 kg) chez les hommes et de 54,58 kg (17-110 kg) chez les femmes. L'indice de masse corporelle moyen était de 20,04 kg/m<sup>2</sup> (respectivement 10,5-20,17 kg/m<sup>2</sup> chez les hommes et les femmes).

Les chiffres tensionnels moyens étaient de 12,7 cm Hg chez les hommes (9-30) et de 12,4 cm Hg (8-25) chez les femmes pour la systolique et de 7,8 cm Hg (5-12) pour les hommes et 8 cm Hg (5-16) chez les femmes pour la diastolique.

La quasi-totalité des personnes incluses dans l'étude étaient mariées (82,7 %) et l'indice synthétique de fécondité (ISF) était de 3,85 enfants par femme. Les jeunes femmes de 15-24 ans contribuaient pour 2,22 % à la fécondité totale.

Concernant le niveau d'instruction, près de neuf personnes sur dix étaient analphabètes, 10,7 % avaient arrêté à l'école primaire et seules 1,8 % avaient fait des études secondaires ou supérieures.

Ceci est en accord avec les faibles proportions d'individus enquêtés qui savaient lire (15,2 %), écrire (14 %) et compter (30,2 %).

Le tabagisme était retrouvé chez 18,7 % des hommes contre 1,9 % des femmes. La consommation d'alcool aussi concernait essentiellement les hommes, avec une prévalence de 6 % contre 0,3 % chez les femmes.

Par rapport à l'activité économique, on notait que le taux d'activité des femmes était de 57,7 % contre 94,1 % pour les hommes dont 59,7 % étaient des éleveurs.

La majeure partie de notre population d'étude (46 %) habitait à plus de 10 km d'une structure de santé (fig. 2).

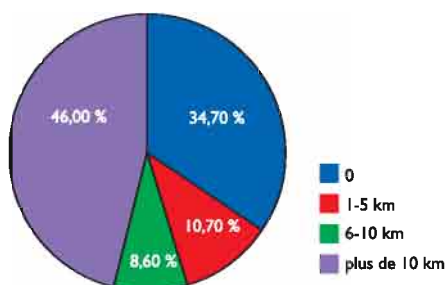


Figure 2.  
Répartition des personnes en fonction de la distance parcourue pour atteindre une structure de santé.

Presque une personne sur deux souffrait d'anxiété, avec les mêmes proportions retrouvées chez les hommes et les femmes (51,9 % et 51,6 % respectivement). L'insomnie était plus fréquemment rencontrée chez les hommes (72,4 %), comparés aux femmes (67,9 %).

La perception de l'état de santé était globalement satisfaisante parmi les personnes enquêtées avec près de 72,7 % de réponse positives. Cependant, on notait une légère différence entre les hommes et les femmes (fig. 3a et 3b).

Avant le début de l'enquête, environ 35,7 % des hommes contre 52,6 % des femmes déclaraient bénéficier d'un suivi médical.

En cas de maladie, le recours thérapeutique en première intention était la médecine moderne chez 59,5 % des femmes contre seulement 42,8 % des hommes. Le reste faisait d'abord appel à la médecine traditionnelle. La proportion d'hommes qui déclaraient consulter une personne autre qu'un médecin était supérieure à celle des femmes (respectivement 40,6 % et 34,2 %). Pour l'identification des variables ayant une influence sur l'état de santé des populations, l'analyse univariée avait montré les résultats significatifs suivants (tabl. I).

Perception santé homme

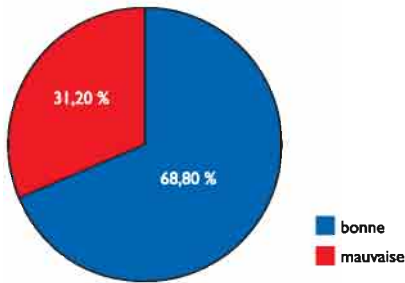


Figure 3a.

État de santé perçue chez les hommes.

Perception santé femme

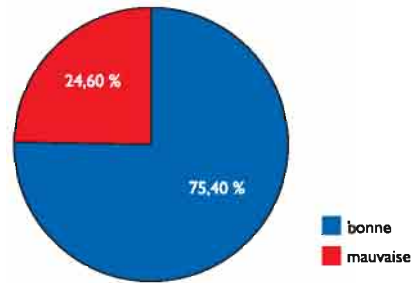


Figure 3b.

État de santé perçue chez les femmes.

Tableau I.  
Variables associées à l'état de santé perçue à l'analyse univariée  
(*r* = coefficient de corrélation et *p* = probabilité).

	Âge	Sexe	Tabagisme	Pression artérielle systolique	Angoisse	Insomnie	Existence pathologie connue
État de santé	<i>r</i> = 0,10	<i>r</i> = -0,07	<i>r</i> = 0,09	<i>r</i> = 0,11	<i>r</i> = 0,17	<i>r</i> = -0,28	<i>r</i> = 0,22
	<i>p</i> = 0,01	<i>p</i> = 0,07	<i>p</i> = 0,01	<i>p</i> = 0,011	<i>p</i> < 0,001	<i>p</i> < 0,001	<i>p</i> < 0,001

Le tableau II montre les résultats de l'analyse multivariée.

Tableau II.  
Facteurs associés à l'état de santé perçue  
(régression logistique multivariée).

Variables	Odds-ratio (Intervalle de confiance à 95 %)	P
Distance supérieure à 3 km	7,77 (3,29-18,34)	< 0,001
Pathologie antérieure connue	2,38 (1,20-8,78)	< 0,001
Bon sommeil	1,59 (1,15-2,65)	< 0,001
Angoisse	0,27 (0,16-0,96)	0,07
Âge (années)	1,02 (0,90-1,35)	0,09
Sexe (féminin)	1,18 (0,68-2,05)	0,54
Index de masse corporelle (kg/m <sup>2</sup> )	0,95 (0,88-1,01)	0,15
Hypertension artérielle (mm Hg)	1,49 (0,89-2,48)	0,12

## Discussion

La perception ou l'auto-évaluation de l'état de santé constitue un indicateur important de l'état de santé de la population. Elle reflète l'appréciation globale que l'individu fait de son propre état de santé en intégrant des aspects objectifs et subjectifs, notamment ses connaissances et son expérience de la santé ou de la maladie (Direction de la Santé publique de la Régie régionale de la santé et des services sociaux de l'Outaouais, 1998)

La santé perçue est, avec la mortalité et l'espérance de vie, l'un des indicateurs de santé les plus largement utilisés en santé publique (Benyamini et Idler, 1997 ; Bjorner *et al.*, 1996) Reconnue comme un outil de mesure fiable et valide, elle est facile à comprendre et simple à recueillir. C'est de surcroît un très bon indicateur de la mortalité et de l'utilisation des services de santé (Benyamini et Idler, 1997). Pour toutes ces raisons, la plupart des enquêtes de santé en population générale incluent souvent ce paramètre.

Au Sénégal, l'évaluation de la perception de l'état de santé global constitue un sujet très peu exploré, même s'il existe quelques études portant sur un aspect particulier de la santé en milieu rural (Adjamagbo et Antoine, 2002). Cette enquête rétrospective, réalisée dans le cadre des Activités citoyennes de l'Ucad, est la première qui évalue la santé perçue des populations rurales sénégalaises.

Elle a montré que près de trois quarts des personnes vivant dans les communautés rurales étudiées jugent être en bonne santé. Cependant, ce constat a priori satisfaisant cache bien d'autres réalités.

L'analyse de nos résultats montre également que la perception de l'état de santé s'améliorait avec l'âge, même si la relation n'était pas statistiquement significative. Ceci pourrait être lié à une certaine tolérance de la pathologie avec l'âge. Au fur et à mesure qu'elles vieillissent, les personnes âgées malgré leurs nombreuses plaintes physiques, jugent leur santé assez bonne par comparaison à la polypathologie qui est souvent la règle chez une grande partie de leurs camarades. En fait, les études sur la relation entre l'âge et l'état de santé ou l'incapacité sont divergentes (Bjorner *et al.*, 1996 ; Idler, 1993).

Nos résultats ont démontré que l'existence d'une maladie déclarée influait négativement sur la santé perçue aussi bien chez les hommes que chez les femmes. Cette relation restait significative même après ajustement par l'âge, le sexe, la profession et le niveau d'instruction. Cela signifie que les personnes associent généralement la bonne santé au fait de n'être suivies pour aucune pathologie.

Avoir une maladie pourrait augmenter considérablement la probabilité de se déclarer en mauvaise santé. Dans une enquête menée au Québec, la morbidité était le seul paramètre significativement associé à la perception de l'état de santé pour toutes les strates (Haddad et Martin, 2006).

Également, le manque de sommeil s'est montré fortement corrélé à un mauvais état de santé chez nos populations. La fréquence élevée de l'insomnie pourrait être liée à la forte prévalence de la fièvre typhoïde dans cette zone rurale (Baxerres et Le Hesran, 2004).

En revanche, certaines affections telles l'hypertension artérielle, l'obésité et l'anxiété rapportées par d'autres études en Europe n'étaient pas significativement associées à la perception de l'état de santé de nos populations (Camirand *et al.*, 2009 ; Raphael, 2009).

Pour l'hypertension artérielle, le manque d'information et le diagnostic tardif lié à son caractère insidieux pourraient expliquer le fait qu'elle ne soit pas associée à une mauvaise santé perçue chez les personnes qui en souffrent.

Les faibles prévalences de l'obésité et de la surcharge pondérale dans l'échantillon expliqueraient l'absence de corrélation significative avec l'état de santé. En effet, la forte prévalence de l'insuffisance pondérale traduit d'une part, une population mal nourrie et d'autre part, le morphotype sahélien caractérisant, en général, les Peulhs qui sont majoritaires dans notre échantillon. Pour l'anxiété, elle est souvent négligée, voire ignorée par les populations qui sont quotidiennement confrontées à plusieurs sources de stress.

Faisant l'objet d'interdictions par les croyances religieuses et culturelles dans le monde rural sénégalais, la consommation de tabac et d'alcool reste très faible au sein de la population.

Plusieurs études antérieures ont mis en exergue les facteurs socio-économiques comme déterminants majeurs de la santé perçue (Camirand *et al.*, 2009 ; Ferland et Paquet, 1995). Les recherches sur la santé de la population ont démontré que les facteurs socioéconomiques sont souvent aussi importants que les soins de santé lorsqu'il s'agit d'évaluer l'état de santé d'une population (Ferland et Paquet, 1995 ; Gwatkin *et al.*, 2000).

Les ménages les plus pauvres voient leur comportement en matière de santé influencé par le faible niveau d'éducation des mères. Les dépenses de santé des ménages apparaissent d'un ordre de grandeur fondamentalement différent entre non-pauvres et pauvres. Par exemple, une étude inspirée de l'enquête santé Canada de 1978-1979 indiquait que les hommes à faible revenu qui travaillaient avaient presque deux fois plus de problèmes de santé et trois fois plus de jours d'incapacité par rapport aux hommes à revenu élevé. Selon les résultats d'une étude plus récente, l'enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes de 2000-2001, deux fois plus d'hommes et de femmes dans le groupe au revenu le plus élevé a qualifié leur état de santé d'excellent par rapport au groupe au revenu le plus faible (Gendreau et Tabutin, 2002).

Notre étude n'avait pas évalué les revenus des enquêtés. Cependant, le faible taux de scolarisation constitue un vrai frein à l'insertion professionnelle, d'où la précarité de l'emploi et les revenus faibles. Les Sénégalais vivant en milieu rural ont habituellement un revenu plus faible et une moins grande sécurité d'emploi que les résidents des milieux urbains.

Par ailleurs, le recours aux soins constitue un problème crucial dans les localités étudiées. Les populations rurales ont plus facilement recours à la médecine traditionnelle qu'aux services de soins modernes du fait de leur inaccessibilité (Djènèpo *et al.*, 2003). C'est ainsi que notre étude met en évidence un taux élevé d'individus qui consultent en première intention des tradipraticiens et ont donc recours aux



traitements traditionnels, surtout à base de plantes. L'éloignement des structures de santé et la mauvaise répartition des ressources financières et humaines très insuffisantes en sont les principales causes. Les résidents des collectivités rurales doivent généralement parcourir de plus longues distances sur des routes qui sont souvent impraticables. En effet, plus d'un patient sur deux déclarait parcourir plus de 5 km pour rejoindre la structure sanitaire la plus proche. Il n'est pas donc étonnant que l'éloignement de la structure de soins soit identifié comme étant le principal facteur associé à la perception de la santé dans notre étude. Les populations vivant à plus de 3 km d'un poste de santé avaient presque huit fois plus de chance de se sentir en mauvaise santé comparées à leurs compatriotes qui étaient à moins de 3 km. En milieu rural, entre les villages d'une aire de santé, il n'y a souvent que des pistes en mauvais état et les moyens de transport sont soit des véhicules de transport en commun, soit des moyens rudimentaires (dos d'ânes, charrettes, pirogues, etc.) pénalisant ainsi les villages éloignés (Organisation mondiale de la santé, 2008).

Les recherches sur la santé de la population ont démontré que les facteurs socioéconomiques sont souvent aussi importants que les soins de santé lorsqu'il s'agit d'évaluer l'état de santé d'une population. Les Sénégalais vivant en milieu rural ont habituellement un revenu plus faible et une moins grande sécurité d'emploi que les résidents des milieux urbains. Bien que de nombreux programmes et projets régionaux de développement économique aient donné des résultats variables, certains cas de réussites peuvent servir de modèle pour les interventions communautaires.

Comme l'a démontré le présent travail, les populations rurales ont un accès limité aux structures de santé et par conséquent à la prévention, à la détection précoce, au traitement et aux services de soutien. Cela retentit sur leur état de santé qui est inversement proportionnel à l'éloignement d'une structure de soins.

Vu le faible niveau socio-économique dans les campagnes, une amélioration considérable des revenus des personnes rurales et le renforcement de leur indépendance économique doivent être la condition préalable de toute politique visant à résoudre les problèmes de santé de la population. Un autre facteur différentiel est le niveau d'éducation et/ou d'instruction.

Il apparaît alors nécessaire d'avoir une plus grande accessibilité financière et géographique des structures de soins qui doivent par ailleurs dispenser des soins de qualité. La médecine traditionnelle reste pour la grande majorité des Sénégalais, le premier recours en matière de santé primaire. L'usage des plantes médicinales et des décoctions de tout ordre est d'efficacité variable et imprévisible dans beaucoup de cas. Une initiative visant à réglementer cette médecine et à rationaliser les pratiques a été prise par les autorités sanitaires mais le chemin à parcourir reste long (Brunet et Jailly, 1996).

Une prise en charge sanitaire satisfaisante en milieu rural peut se faire à l'aide de moyens techniques et financiers peu onéreux. Un des éléments de minimisation des coûts pourrait être l'utilisation d'un personnel itinérant et le choix des médicaments efficaces et financièrement abordables.

Malgré la prévalence encore relativement faible de l'obésité et la sédentarité dans les deux communautés, il serait intéressant de développer des stratégies de prévention

au sein de la population, afin de réduire le risque de survenue des maladies comme le diabète. Dans le même sens, le renforcement des conseils diététiques, plus particulièrement par la promotion de la consommation de fruits et de légumes et la réduction de la consommation de sel, est de mise pour protéger efficacement la population contre les maladies non transmissibles.

Enfin, la mise en œuvre de toute politique sanitaire doit tenir compte des spécificités locales. Sous ce rapport, il serait important de favoriser la scolarisation et surtout améliorer les programmes d'alphabétisation en y intégrant des cours d'éducation pour la santé afin de faciliter le recours aux structures sanitaires.

Les politiques gouvernementales doivent tenir compte des incidences non seulement sur la société dans son ensemble, mais aussi sur les personnes à risque. À l'inverse, les politiques et programmes qui visent à changer les comportements individuels auraient des impacts à long terme sur l'état de santé de la population.

## Conclusion

Cette étude transversale est la première qui évalue la perception de l'état de santé en milieu rural sénégalais. Elle s'est déroulée dans un cadre plus global des ACU.

Les résultats montrent que près des trois quarts des populations interrogées jugeaient leur état de santé satisfaisant. Cependant, on pouvait noter plusieurs disparités concernant les déterminants de cet état de santé perçue.

L'éloignement d'une structure de soins, la présence d'une insomnie et l'existence de maladie déclarée (souffrance d'une pathologie donnée) impactaient négativement sur la santé perçue. Par contre, certaines caractéristiques socio-économiques telles que l'âge, le sexe, l'instruction, la catégorie professionnelle et le statut matrimonial n'avaient pas montré d'effet sur la santé perçue de nos populations. De même, les facteurs de risque tels que l'hypertension artérielle, l'obésité, la sédentarité, l'alcoolisme et le tabagisme n'avaient pas d'impact significatif sur la perception de l'état de santé des personnes.

Notre travail a également montré que les populations rurales ont un accès limité aux structures de santé et par conséquent à la prévention, à la détection précoce, au traitement et aux services de soutien. Cela a un impact considérable sur leur état de santé.

La satisfaction de la demande de santé des populations en milieu rural devra nécessairement passer par l'amélioration de l'accessibilité géographique, culturelle et financière des soins de qualité. Également, vu le faible niveau socioéconomique dans les campagnes, il faudra augmenter le taux de scolarisation/alphabétisation surtout chez les filles et l'insertion professionnelle des jeunes qui permettront d'améliorer considérablement les revenus des ménages et le niveau de vie des individus.

## Références

- Ajamagbo A., Antoine P.  
« Le Sénégal face au défi démographique ».  
La Société sénégalaise entre le local et le global  
Karthala, Paris, 2002, p. 511-597
- Akam E.  
« Infécondité et sous-fécondité :  
évaluation et recherche des facteurs.  
Le cas du Cameroun ». Cahiers de l'IFORD,  
février 1990, n° 1, p.281.
- Baxerres C, Le Hesran JI.  
« Recours aux soins en cas de fièvre  
chez l'enfant en pays Sérére au Sénégal :  
entre contraintes économiques  
et perception des maladies ».  
Sciences Sociales et Santé 2004 ; 22 (4) : 23.
- Benyamini Y., Idler EL.  
« Self-rated health and mortality:  
A review of twenty-seven community studies ».  
Journal of Health and Social Behavior 1997;  
38 : 21-37.
- Bjorner J.B., Kristensen T.S., Orth-Gomer G.,  
Tibblin K., Sullivan M., Westerholm P.  
« Self-rated Health: A Useful Concept  
in Research, Prevention and Clinical Medicine ».  
Stockholm, Forskningsrådsnämnden 1996.
- Brunet T., Jailly R.  
« La santé dans quelques pays d'Afrique  
de l'ouest après 17 ans d'ajustement ».  
Paris CE, PED, 1996, p 233-271.
- Camirand J., Dumitru V., Guillaume S.,  
Sermet C.  
« La santé perçue des 55 ans et plus en France  
et au Québec: Différences et similitudes ».  
Questions d'économie de la santé  
Irdes 2009/05., n° 142.
- Codjia L., Sall Fl., Zurn J.  
2010. « La fidélisation des personnels  
de santé dans les zones difficiles au Sénégal ».  
OMS (Accroître l'accès aux personnels de santé  
dans les zones rurales ou reculées.  
Étude de cas 1, 2, 5, 6, 7.
- Direction de la Santé publique  
de la Régie régionale de la Santé  
et des Services sociaux de l'Outaouais  
1998. « Les résultats de l'enquête sociale  
et de santé 1998 pour la région de l'Outaouais ».  
Enquête sociale et de santé outaouais.  
23 Fiches 12
- Djènèpo F., Kanté B., Konate MK.  
« Politique de santé communautaire  
et viabilité économique et sociale  
des centres de santé communautaires au Mali :  
étude de cas en milieu urbain et rural ».  
Document préliminaire préparé pour le projet  
RUIG/UNRISD « Mondialisation, inégalité et  
santé », un projet international de collaboration  
dans le cadre du programme de recherche  
du RUIG « Le défi social du développement ».  
Septembre 2003.
- Ferland M., Paquet G.  
« Liens entre le statut socio-économique  
et la santé ». Un article publié dans l'ouvrage  
sous la direction de Carmen Bellerose,  
Claudette Lavallée, Lucie Chénard  
et Madeleine Levasseur, Santé Québec.  
Et la santé, ça va en 1992-1993 ?  
Rapport de l'Enquête sociale et de santé  
1992-1993. Volume 2. Chapitre 4, pp. 81-112.  
Québec : Santé Québec, Ministère de la Santé et  
des Services sociaux, Gouvernement du Québec,  
Novembre 1995, p 196-56.
- Gendreau F, Tabutin D.  
« Introduction :jeunesses, vieillesse,  
démographies et sociétés »  
in Gendreau F, Poupard M, Tabutin D. (dir.)  
2002, Jeunesses, Vieillesse, Démographies  
et Sociétés. Chaire Quételet 2001,  
Quatrième journées scientifiques  
du Réseau démographie de l'AUF,  
Louvain-la-neuve :  
Academia-Bruylant /L'Harmattan, 2002, p 7-22.
- Gwatkin Dr, Johnson K,  
Pande R P, Rustein S, Wagstaff A.  
« Socio-economic differences in health,  
nutrition, and population in Morocco ».  
HNP/Poverty Thematic Group  
of the World Bank. Washington DC, 2000.  
Accessible en ligne le 21.01.2012 à :  
<http://www.worldbank.org/hnp>
- Haddad S., Martin MC.  
2006. « Ressources individuelles et collectives  
et la santé des femmes au Maroc ».  
Deuxième colloque du réseau de recherche  
en sante mondiale du Québec.  
Jeudi, le 4 mai 2006.  
Direction de Santé Publique de Montréal,  
PQ, Canada. p13

Idler E. L.

« Age differences in self-assessments of health: Age changes, cohort differences, or survivorship? ». *Journal of Gerontology: Social Sciences* 1993; 48 : S289-S300.

Lang T.

« Questions de santé publique : la santé se construit dans un environnement social »  
Décembre 2009, p 2.

Organisation mondiale de la Santé

« Comblent le fossé en une génération. Instauration l'équité en santé en agissant sur les déterminants sociaux de la santé »  
Commission des déterminants sociaux de la santé.  
Résumé analytique du rapport final 2008, 33 p.

Préambule à la Constitution

de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19 juin-22 juillet 1946; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 Etats. (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n° 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948.

Raphael D.

« Social Determinants of Health: Canadian Perspectives ». 2<sup>e</sup> édition. Toronto: Canadian Scholars' Press Incorporated. 2009, p 20-36.



## Partie II

# Qualité des sols et évolution dans un contexte de changements climatiques



# État des sols et évolution dans un contexte de changements climatiques

*LUC DESCROIX et ARONA DIEDHIOU*  
LTHE, IRD, Université de Grenoble, BP 53, 38041, Grenoble Cedex 9 (France)

## Introduction

### Préambule

Malgré la diminution des précipitations après 1968, on constate une augmentation des écoulements au Sahel après cette date. Cette augmentation est due essentiellement à l'encroûtement des sols et à la disparition progressive de la végétation ligneuse.

Pour restaurer la teneur en eau des sols, leur capacité à retenir l'eau et limiter le ruissellement et l'érosion, il faut « rugosifier » à la fois le sol et le paysage : tout faire pour qu'à l'échelle ponctuelle ou de la parcelle, l'eau s'infilte au lieu de ruisseler ; et tout faire pour que de l'échelle de la parcelle à celle du terroir, le paysage soit morcelé, compartimenté, rugosifié : haies, arbres au milieu des champs, arbres dans les villages et en bordure des villages, travaux de restauration des sols et de la végétation dans les secteurs déjà dégradés : zaï, cordons pierreux, demi-lunes, terrasses, reboisement là où le sol est vraiment décapé. Cette restauration de la teneur en eau des sols et de leur « rugosité » doit permettre de rétablir son potentiel évaporant « naturel » supposé alimenter en rétroaction la proche atmosphère en vapeur d'eau.

Cela permet à la fois :

- de faire pénétrer l'eau dans le sol au profit de la végétation (naturelle ou cultures, ligneuse ou herbacée) ;
- de limiter l'érosion hydrique par les coupures des haies, les obstacles des arbres et diminution des fetchs hydriques ;



- de limiter l'érosion éolienne par diminution de la taille des fetchs éoliens ;
- de rétablir le potentiel évaporant de la surface continentale.

## État des lieux

L'Afrique de l'Ouest connaît depuis 1968 un déficit pluviométrique prolongé ; celui-ci est d'autant plus accentué en direction du nord et du Sahel, où la diminution de la pluviométrie moyenne est plus marquée dans cette zone par nature semi-aride à aride. Malgré une atténuation de ce déficit à partir de 1995 et seulement dans la partie centrale et orientale du Sahel, ce déficit reste prégnant et, là où il s'est amoindri, il a laissé place à une variabilité interannuelle accrue (Ali et Lebel, 2009 ; Lebel et Ali, 2009). L'Afrique de l'Est a connu aussi de graves épisodes de sécheresses (début des années 1980, années 2009-2011).

Cette sécheresse a entraîné directement une dégradation de la végétation naturelle par une diminution de la biomasse des plantes annuelles, herbacées et graminées, et par la mort de nombreux ligneux, épuisés par la succession d'années sèches (essentiellement pendant la « grande sécheresse du Sahel, c'est-à-dire la succession d'années sèches 1972-1973 puis 1983-1985, ces deux périodes étant précédées et suivies uniquement d'années déficitaires. Un grand nombre d'arbres, parfois âgés et centenaires, sont morts durant ces épisodes (Luxereau, comm. pers. ; Gardelle *et al.*, 2010). Par ailleurs, cette période a été marquée par de très mauvaises récoltes et un sévère déficit alimentaire, débouchant sur des famines très accentuées et récurrentes.

Cette sécheresse a aggravé et accéléré un processus de dégradation des sols déjà perceptible, localement, avant la sécheresse ; l'augmentation de la population a entraîné une accélération du système agraire fondé sur une récupération de fertilité par repos prolongé du sol (jachère). Les temps de jachère ont été raccourcis dès lors que l'espace cultivable a occupé l'ensemble de l'espace total, et que la population a continué de croître. Comme les sols des zones semi-arides sont en général des sols peu structurés, sableux, peu fertiles et très fragiles, l'accélération des rotations s'est traduite par une diminution des rendements et une dégradation des sols caractérisée par leur encroûtement sur plusieurs centimètres, plusieurs dizaines de centimètres même le plus souvent (Albergel et Valentin, 1988 ; Casenave et Valentin, 1989 ; D'Herbès et Valentin, 1996).

Ainsi, on assiste à une très forte modification de l'occupation des sols, aussi bien au Sahel qu'en Afrique de l'Ouest ; un certain « reverdissement » est observé par un grand nombre d'auteurs, mais ferait l'objet d'une controverse. En effet, depuis la fin des années 1990, de nombreux scientifiques ont montré que la couverture végétale semblait reprendre de l'importance (Prince *et al.*, 1998 ; Rasmussen *et al.*, 2001 ; Anyamba et Tucker, 2005 ; Hermann *et al.*, 2005 ; Prince *et al.*, 2007 ; Fensholt et Rasmussen, 2011, entre autres). Par ailleurs, des travaux de restauration des terroirs semblent, au moins localement, avoir porté leurs fruits (Reij *et al.*, 2005, Larwanou *et al.*, 2006 ; Reij *et al.*, 2009). Govaerts *et al.* (2008) montrent eux une diminution de l'albedo qui serait également signe d'un regain de la végétation. Mais certains auteurs semblent démontrer que l'évolution tend plutôt vers une poursuite de la désertification (Hountondji *et al.*, 2004 ; Hein et De Ritter, 2006) ou que dans

certains secteurs, la dégradation de la couverture végétale perdurait (Diello *et al.*, 2006 ; Leblanc *et al.*, 2008, Ruelland *et al.*, 2011). Dans ces conditions, il est difficile de bien cerner la réalité de cette évolution, mais on peut au moins mettre en valeur les points suivants :

– la végétation semble dans des secteurs très étendus avoir progressé depuis le début des années 1990 (Rasmussen *et al.*, 2001), du fait que les années les plus sèches sont les années 1970 et 1980 et qu'une certaine reprise des pluies est observée au moins au centre et à l'est du Sahel depuis cette date (Ali et Lebel, 2009 ; Lebel et Ali, 2009) ;

– les champs continuent à s'étendre au détriment de la végétation naturelle, et de plus en plus, aux dépens de la jachère qui est le système de restauration de la fertilité le plus répandu, au moins dans les régions sahéliennes ; or la biomasse d'un champ de mil est supérieure en fin de saison à celle de la jachère, d'où un accroissement des valeurs des indices de végétation (Hiernaux *et al.*, 2009a) ;

– c'est au nord, en limite du Sahara, que la pluie a le plus baissé durant la grande sécheresse ; il est probable que l'atténuation relative de la sécheresse y entraîne une forte augmentation de la biomasse herbacée et graminéenne, du moins par rapport aux années les plus sèches ;

– les études basées sur la télédétection semblent très majoritairement pencher pour un reverdissement du Sahel (en particulier ses franges nord en limite du désert), en particulier une hausse des indices de végétation (NDVI pour le plus employé), alors que celles qui utilisent la photographie aérienne comme support de comparaison montrent une dégradation de la végétation et des sols ; cependant, ces dernières études sont forcément plus limitées dans l'espace, moins représentatives de l'ensemble, et peut-être aussi localisées sur des secteurs particuliers effectivement en cours de dégradation prolongée. La plupart des études de l'occupation des sols fondées sur des photos aériennes montrent une diminution du couvert végétal dans le Sahel (Ada et Rockstrom, 1993 ; Loireau, 1998 ; Chinen, 1999 ; Le Breton, 2005 ; Leblanc *et al.*, 2008 ; Amogu, 2009, entre autres). Cela est corroboré par les statistiques officielles de surface cultivée. Pour le Niger, durant la période 1999-2006, Garba (Garba, 2010) a observé une diminution de la biomasse dans une étude utilisant le NDVI ; mais il l'explique par le fait que l'année 1999-2000 était une année humide. Karambiri *et al.* (2003), Diello *et al.* (2006) et Hauchart (2008) ont aussi noté une réduction du couvert végétal dans deux différentes régions du Burkina Faso (les bassins du Nakambé et du Mouhoun). Liénou *et al.* (2005) ont fait les mêmes observations au Cameroun, qui sont en accord avec les résultats de Amani et Nguetora (2002), et Mahé *et al.* (2003) sur la rive droite du fleuve Niger. Les données statistiques de la FAO indiquent une diminution de 3,7 % par an de la biomasse au Niger, et Hiernaux *et al.* (2009a) ont mesuré une réduction annuelle de 2,7 % de la biomasse dans le Fakara (Niger) ;

– on connaît les méthodes de restauration des sols et de la végétation, et les conditions à mettre en œuvre pour leur divulgation spontanée (Larwanou *et al.*, 2006 ; Reij *et al.*, 2009) et on sait combien les sociétés sont attachées aux arbres et conscientes de leur rôle, tant au niveau des paysages et du maintien de la biodiversité que de leur importance

sociale, culturelle et de plus en plus économique (Luxereau et Roussel, 1997 ; Luxereau, comm. pers.), par l'apport d'une diversification synonyme d'amélioration de la sécurité alimentaire ;

– localement et au nord de la bande sahélienne, on a pu remarquer que la végétation progressait, sauf dans des secteurs, assez étendus, où les sols squelettiques portaient avant la sécheresse une maigre végétation xérophile. Dans ces secteurs, la végétation a été tuée par la sécheresse, la capacité de rétention en eau des sols ayant vite été annulée par la succession des années sèches ; les sols, auparavant retenus par la végétation, ont été emportés par l'érosion après la disparition de leur maigre couverture végétale. De ce fait, la végétation ne peut s'y rétablir spontanément, et ces secteurs ont été déterminés comme étant devenus des zones de ruissellement expliquant dans ces zones septentrionales la forte croissance du volume et de l'extension des mares (Hiernaux *et al.*, 2009b ; Gardelle *et al.*, 2010).

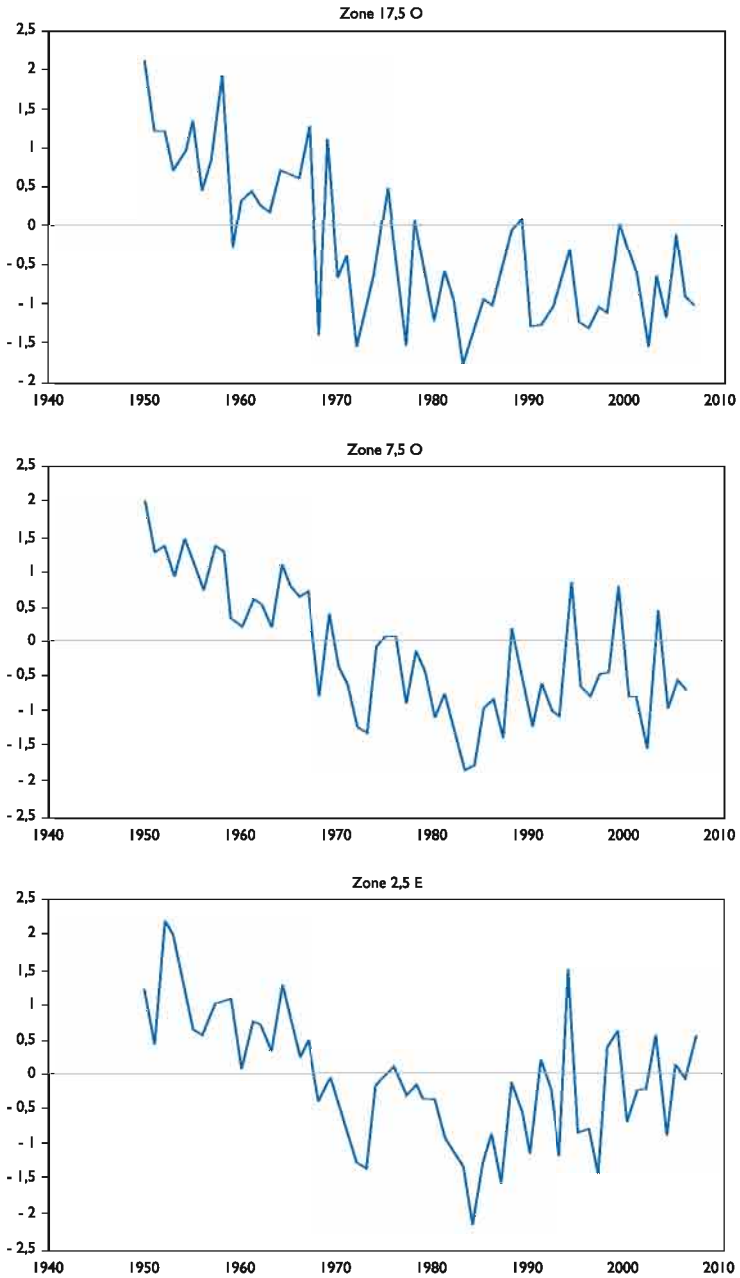
Il est par contre évident dans toute l'Afrique subsaharienne, et l'Afrique sahélienne en particulier, que la pression anthropique sur le milieu s'accroît rapidement et devrait continuer à s'accroître dans les prochaines décennies. Il est donc important de tout faire pour pérenniser les conditions de la sécurité alimentaire en préservant et en améliorant la productivité durable du milieu et en favorisant une diversification des sources d'alimentation et de revenus.

## Le contexte climatique

L'Afrique subsaharienne a connu les plus fortes variations climatiques observées ces dernières décennies. L'Afrique de l'Ouest est la région qui a connu les plus fort signal de changement climatique jamais enregistré depuis le début des enregistrements météorologiques normalisés au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (Hulme, 2001). Sur plus de 5 millions de km<sup>2</sup>, la pluviométrie a diminué de 10 à 30 % pendant une période de 25 ans au moins (1968-1995), et le déficit perdure dans de nombreuses régions, en particulier à l'Ouest. Cette sécheresse semble s'atténuer dans la partie centrale du Sahel (Ali et Lebel, 2009 ; Lebel et Ali, 2009) (fig. 1), alors qu'elle persiste de manière très prononcée dans l'Ouest. Elle se caractérise par une baisse du nombre d'événements pluvieux plutôt que par une baisse de la quantité d'eau tombée par événement (Le Barbé et Lebel, 1997). Par ailleurs, l'est de l'Afrique est soumis à des sécheresses récurrentes (entraînant souvent, comme à l'ouest, des déficits alimentaires et des famines) comme celle du début des années 1980 en Éthiopie et l'ensemble de la Corne de l'Afrique. Paradoxalement, les crues et inondations sont aussi plus nombreuses sur toute la bande sahélienne d'un océan à l'autre.

Dans une étude sur le bassin du Niger (le plus vaste d'Afrique de l'Ouest), on n'a pour le moment remarqué aucune modification notable dans le nombre d'événements pluvieux de plus de 20 à 70 mm en 24 heures, ni dans la répartition mensuelle des

**La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux**



*Figure 1.*  
*Évolution des indices pluviométriques en Afrique de l'Ouest (d'après Ali et Lebel, 2009) ;*  
*a : secteur Ouest ; b : secteur central, c : secteur Est..*

précipitations dans l'année (fig. 2) (Descroix *et al.*, 2011). Il ne semble pas non plus y avoir de modification de l'intensité moyenne des précipitations (Amogu *et al.*, 2010).

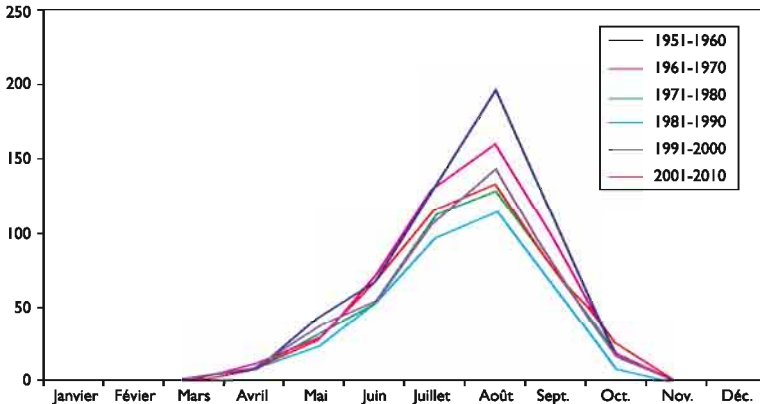
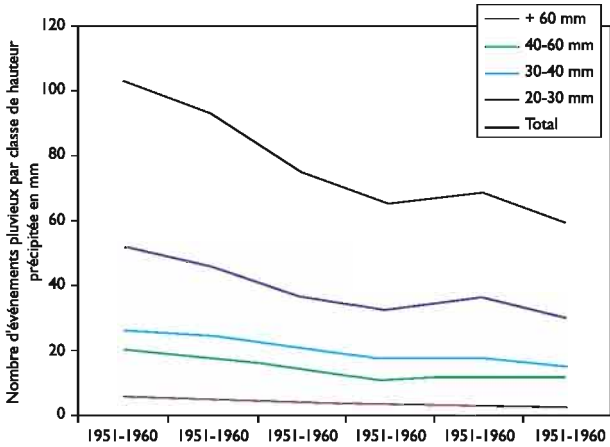


Figure 2.

a. Évolution de la distribution par hauteur tombée des évènements pluvieux de plus de 20 mm sur le bassin central du Niger.

2. b Évolution de la répartition mensuelle des précipitations (Descroix *et al.*, 2011).

Les rapports du GIEC montrent que la température a déjà augmenté de 0,6 °C en Afrique (fig. 3) et qu'elle va encore augmenter de 3 ou 3,5 °C pendant le XXI<sup>e</sup> siècle dans la zone sahélienne, tandis que la pluviométrie diminuerait à l'ouest mais augmenterait à l'est du continent.

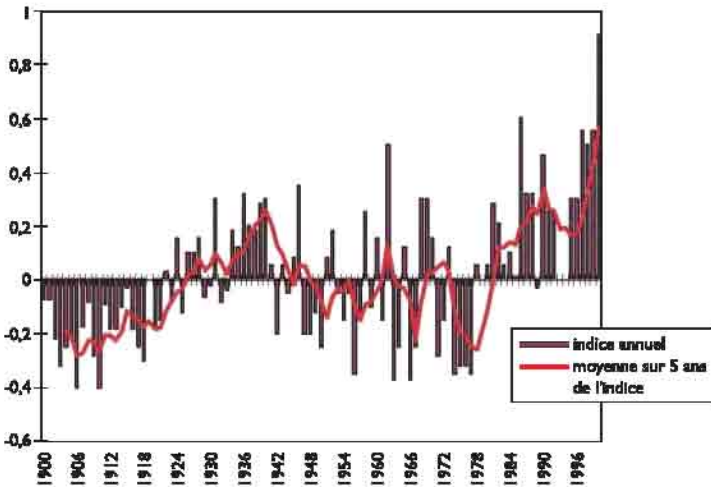


Figure 3.  
Évolution observée de la température en Afrique au XX<sup>e</sup> siècle  
d'après le rapport GIEC 2007.

Ces travaux et prévisions permettent aussi aux organismes internationaux de diffuser des scénarii d'évolution du climat et des ressources à destination des décideurs ; on dispose ainsi d'estimations sur l'évolution de la durée des moussons suivant divers scénarii.

Une étude récente (Ardoin *et al.*, 2009) a proposé une simulation de l'évolution des ressources en eau pour certains bassins d'Afrique de l'Ouest. Cette étude aborde le problème de l'utilisation des données issues des modèles de circulation générale (GCM) pour évaluer les impacts du changement climatique sur les écoulements en Afrique de l'Ouest.

Les données annuelles et mensuelles de précipitations de quatre GCM utilisés dans le troisième rapport de l'IPCC ont été étudiées sur la période 1950-1998 : les modèles CSIRO-Mk2, ECHAM4, HadCM3 et NCAR-PCM. Deux faiblesses communes à tous ces modèles sont leur incapacité à reproduire les volumes précipités en zone sahélienne et leur difficulté à simuler la dynamique saisonnière des pluies en zone guinéenne. Deux scénarii climatiques basés sur les variations prévues par le modèle HadCM3-A2 ont alors été élaborés, afin de générer des chroniques de précipitations et d'évapotranspiration potentielle jusqu'à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, pour simuler les conditions climatiques futures probables. Ces scénarii ont ensuite été utilisés comme entrées du modèle hydrologique GR2M afin d'évaluer les impacts du changement climatique sur les écoulements des fleuves Sénégal, Gambie, Sassandra et Chari. Les résultats montrent que les variations envisageables des écoulements dans le futur sont très dépendantes des précipitations et donc de la qualité des sorties du GCM utilisé. Les deux modèles utilisés prédisent une augmentation des pluies au sud-est d'un axe joignant la côte guinéenne au bassin du Lac Tchad, et une diminution

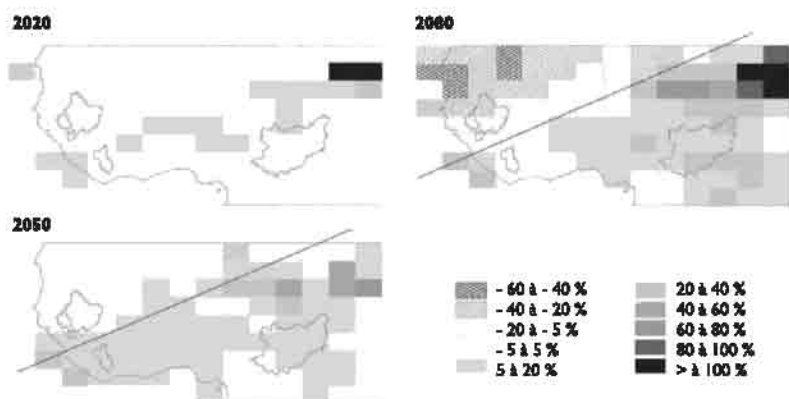


Figure 4.

Changements de la moyenne pluviométrique (scénario anomalies) pour trois horizons par rapport à la moyenne observée 1969-1998 (en %).

Les taux de changements entre les deux scénarii (anomalies et horizons) sont du même ordre de grandeur (Ardoin et al., 2009).

au nord-ouest de cet axe (fig. 4). Hulme (1998) pour sa part trouve qu'il n'y a pas dans les simulations de modèle HADCM2 la persistance interannuelle des pluies que l'on trouve dans les moyennes observées pour la deuxième moitié du <sup>xx</sup>e siècle. Des prévisions sont également faites sur le bassin du Nil Bleu, car des projets hydro-électriques d'ampleur y sont en projet, pour lesquels des prévisions saisonnières et sur le long terme sont indispensables (Block, 2011).

Les incertitudes concernant les prochaines décennies sont grandes, excepté pour les températures ; mais l'évolution récente montre que l'Afrique subsaharienne est particulièrement concernée par le changement climatique ; ses sociétés sont aussi très vulnérables, ainsi que ses agrosystèmes, comme nous le verrons plus loin.

## Des sols pauvres soumis à un « stress productif »

L'Afrique sahélienne est la région qui connaît la plus forte croissance démographique du monde depuis le début de la décennie 1990. Celle-ci intervient dans un contexte de changement climatique fort (voir ci-dessus). Les sols de l'Afrique subsaharienne, sauf quelques exceptions en zones de montagne (andosols d'Éthiopie, sols plus siliceux du Fouta Djallon), sont majoritairement des sols pauvres peu structurés ; les zones semi-arides et arides du Sahel sont surtout des sols ferrallitiques tropicaux caractérisés par une forte proportion de sables ; ils sont fragiles et sujets à l'érosion hydrique et éolienne. Casenave et Valentin (1989 et 1992) ont montré que, plus que

leur structure ou leur texture, plus que leur classification, c'étaient les « états de surface » qui permettaient le mieux de classer les sols d'après leur fonctionnement hydrique et leur évolution face à la sécheresse, la désertification et l'érosion hydrique et éolienne. En Éthiopie, la dégradation des sols constitue la plus grande menace à long terme pour la survie des hommes et demeure l'un des plus grands défis pour la population toujours croissante et le gouvernement. Dans ce pays, comme en Érythrée, on constate un accroissement des problèmes d'érosion, malgré une forte politique de conservation des sols (Nyssen *et al.*, 2000 ; Nyssen *et al.*, 2004).

Dans ce double contexte de changement climatique et de changements d'usage des sols, les populations ont adopté des stratégies de survie connues et plutôt adaptées sur le court terme : adoption de semences de « cycle court » permettant d'avoir des récoltes même lors de moussons plus courtes, extension des cultures et raccourcissement des temps de jachère pour compenser la chute des rendements, vente de bétail, recherche de secteurs pastoraux plus préservés pour les nomades, émigration temporaire vers la côte du Golfe de Guinée, émigration lointaine pour les secteurs occidentaux (ouest du Mali, Sénégal, Mauritanie). Par contre, ces stratégies ne sont pas compatibles avec une pérennisation de la sécurité alimentaire à moyen et long terme. En effet, la jachère est le seul mode de fertilisation utilisé traditionnellement sur de grandes étendues ; la fumure est bien sûr très employée, mais réservée aux champs proches du village, où les jachères ne se pratiquent presque plus. Donc les sols s'appauvrissent, ce qui se reflète dans la baisse continue des rendements observée sur le long terme, par exemple au Niger (Guengant et Banoin, 2003).

Le système agraire traditionnel d'alternance culture-jachère ne peut se perpétuer avec des densités de population au-dessus de 25 habitants au km<sup>2</sup>. Il n'est en effet, par définition, pas intensifiable. La mise en culture suivant cette méthode de l'ensemble de la zone sahéenne « cultivable » (pluviométrie annuelle supérieure à 300 mm) signe l'arrêt de mort de cette pratique, puisque la population continue de doubler tous les vingt ans (18 ans au Niger). Préserver l'autosuffisance alimentaire, à peu près remplie, hors pics de sécheresse, pour l'ensemble des pays sahéens, excepté le Sénégal et la Mauritanie, jusqu'au début des années 2000, suppose l'adoption de techniques nouvelles relevant de l'intensification de la production, par l'apport de ce qui ne manque pas pour le moment : à défaut de capitaux, c'est la main-d'œuvre qui doit être mise à profit pour tenter d'améliorer les rendements. Il faut en profiter pour opérer une diversification des cultures, des pratiques et des sources de revenus, en tentant d'intégrer les services de l'écosystème et à l'écosystème. En effet, dans presque tout le Sahel, les terroirs sont, malgré l'actuel reverdissement (en fait une récupération post-sécheresse), très dégradés, et les sols sont érodés (fig. 5 ci-dessous). L'accroissement indispensable de la production passe par une récupération des sols dégradés, par des techniques connues et à généraliser.

Ce qui paraît inéluctable à moyen terme, c'est une disparition de la jachère. Le Sahel ayant une population rurale à plus de 70 % (85 % au Niger), c'est vers les zones rurales qu'il faut porter l'effort. Comme tout l'espace cultivable ou presque (fig. 6 ci-dessous) est désormais utilisé, seule une véritable intensification-diversification vertueuse peut permettre d'accroître la production pour conserver ou atteindre l'autosuffisance et la sécurité alimentaires.





Figure 5.  
Photos de sols dégradés au Niger (en haut)  
et en Éthiopie (en bas)

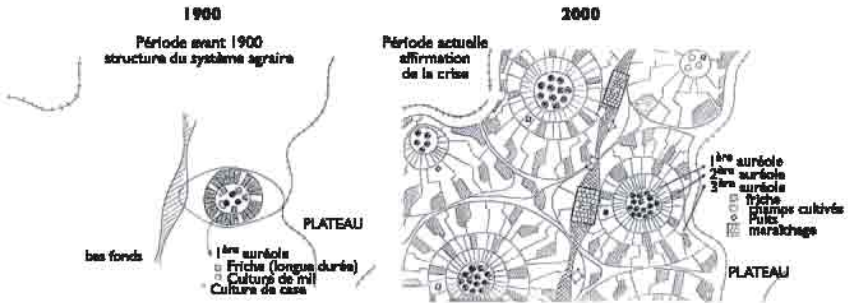


Figure 6.  
Extension et évolution caractéristiques  
des terroirs de la région de Niamey  
durant le XX<sup>e</sup> siècle  
(Ada et Rockstrom, 1993).

## Un constat : la fatigue des sols

On connaît depuis plusieurs décennies les formes de dégradation des sols qui apparaissent dans les zones semi-arides d'Afrique avec la surexploitation des terroirs. Les principaux types de dégradation sont les encroûtements des sols. Les différents types de sols encroûtés et leur formation respective ont été très précisément décrits par Casenave et Valentin (1989). On peut avantageusement se référer aux pages 66 à 74 de leur manuel des états de surface de la région sahélienne pour comprendre comment un sol et ses agrégats se dégradent et évoluent en croûtes : « Il est possible de distinguer plusieurs phases au cours d'une pluie : la mobilisation des particules, leur arrachement, leur transport et leur dépôt ; après dessèchement de la surface, le vent peut à son tour provoquer arrachement, transport et dépôt de certaines fractions. Au bilan, l'ensemble de ces processus conduit à une redistribution à la fois verticale et latérale des constituants ». Les mécanismes décrits pour expliquer l'encroûtement sont :

- l'humectation : celle-ci provoque elle-même éclatement, dispersion et/ou fissuration des agrégats, suivant leur teneur en argile
- l'impact des gouttes d'eau, qui se caractérise par :
  - la mobilisation des particules par dispersion colloïdale et/ou fractionnement
  - le transport par rejaillissement (ou splash)
  - le dépôt
  - le tassement
- le ruissellement, qui cause :
  - l'arrachement mécanique
  - le transport
  - le dépôt qui peut être turbulent ou laminaire
- la dessiccation, marquée par :
  - le retrait
  - l'induration
- l'action du vent, caractérisée en particulier par :
  - l'arrachement par déflation ou corrasion
  - le transport en suspension ou par saltation ou reptation
  - le dépôt
  - le tri granulométrique

D'après ces mêmes auteurs, les principaux types de croûtes sont :

- les croûtes structurales (pour « effondrement sur place de la structure du sol »), liées principalement à la mobilisation des particules et au splash ;
- les croûtes de ruissellement, formées par les matériaux emportés, souvent indurés par la dessiccation ;
- les croûtes d'érosion, qui sont les plus répandues et celles dont l'impact agronomique et hydrologique est le plus important ; elles sont formées par l'arrachement des particules par le vent et l'eau ; elles se forment aux dépens d'une croûte structurale, sableuse ou argileuse, ou d'une croûte de ruissellement ;

- les croûtes de dépôts éoliens ;
- les croûtes de décantation ;
- les croûtes de dessiccation.

Casenave et Valentin (1989) décrivent ensuite la réorganisation superficielle des particules et des agrégats qui conduisent particulièrement à ces encroûtements et expliquent leur évolution. Leur ouvrage comporte surtout un grand nombre de photos qui décrivent chaque type de croûtes et permettent de bien comprendre leur évolution, ainsi que les résultats de tests de ruissellement et infiltration normalisés effectués sous pluie artificielle (simulateur de pluies), qui constituent une analyse complète de leur comportement hydrodynamique. Pour Ambouta *et al* (1996), « les premiers travaux réalisés sur les processus de formation des croûtes superficielles ont montré que l'encroûtement procède essentiellement de la dégradation de la structure de surface des sols, par suite de la destruction des agrégats (Le Bissonnais, 1990), de la disjonction des particules et de la compaction de surface par les gouttes de pluie (Duley, 1939). Très tôt, juste après les études effectuées par Ellison (1947) et McIntyre (1958) sur le rôle primordial que jouerait l'encroûtement dans le déclenchement du ruissellement et de l'érosion, les principaux efforts de recherche ont été orientés vers la caractérisation des changements que ces processus pourraient induire dans les propriétés de surface des sols affectés ».

Casenave et Valentin (1989) décrivent plus loin comment le raccourcissement des jachères conduit à l'encroûtement des sols : « Faciles à travailler, ces sols présentent généralement des conditions favorables de minéralisation, d'aération et d'infiltration. Une fois infiltrée, l'eau n'est que peu reprise par l'évaporation grâce à l'effet de "mulch" des horizons superficiels grossiers et souvent bouillants. Sous une pluviométrie suffisante, ces sols permettent la culture de mil (le plus souvent, surface de type CI), entrecoupée de longues jachères. Si l'équilibre cultures-jachères est rompu, l'horizon superficiel subit l'érosion hydroéolienne et l'horizon B, très pauvre et peu perméable, affleure – surface de type ERO – (Mainguet *et al.*, 1979 ; Brabant et Gavaud, 1985) ».

D'après Ambouta *et al.* (1996), « au Sahel, le système traditionnel d'utilisation des sols consiste, généralement, en une phase de culture de courte durée suivie d'un abandon cultural plus ou moins long (ou phase de jachère) après la baisse des rendements. Dans la majeure partie de la zone sahélienne, ce système a aujourd'hui conduit à la saturation des agrosystèmes dont la principale caractéristique est l'augmentation de surfaces cultivées (Haywood, 1981) aux dépens, d'une part, des terres marginales et, d'autre part, des jachères dont la durée a été de plus en plus raccourcie. La forte corrélation observée entre ce phénomène et l'accroissement des surfaces érodées (Albergel et Valentin, 1988) pourrait, assez rapidement, conduire à l'installation d'un système écologique dégradé à niveau de productivité très bas (Floret *et al.*, 1993) ».

Toutefois, l'étude menée par Ambouta *et al.* (1996) tend à montrer que « la mise en culture, en favorisant l'allègement de la texture par érosion surtout hydrique et éolienne et en remaniant la couche de surface par les façons culturales répétitives, contraire fortement la formation et l'extension de la croûte d'érosion. Lorsque, en

revanche, le niveau d'anthropisation est demeuré faible (précédent culturel "récent") et que la parcelle est en jachère, les sols ont tendance à subir un encroûtement très sévère ; cette forte susceptibilité à l'encroûtement des sols dès qu'ils sont mis en jachère serait probablement favorisée par l'enrichissement superficiel des sols en éléments fins éoliens piégés par la végétation qui se réinstalle après l'arrêt de la culture et par la baisse de l'activité des termites liée à l'absence des résidus de récolte. Aussi, l'efficacité de la jachère comme technique de restauration de propriétés de l'hydrodynamique de surface des sols sableux fins au Sahel ne serait optimale que pour une fourchette d'âge de jachère comprise entre 4 et 7 ans et en dehors de laquelle son influence tendrait plutôt à être négative ». On observe donc clairement un processus à deux termes : à l'échelle locale et à court terme, la mise en culture favorise l'infiltration ; on mesure alors dans les sols des conductivités hydrauliques de 150-200 mm/h et des coefficients de ruissellement à l'échelle parcelle de 3-4 %, contre respectivement 80-120 mm/h et 10-15 % sur les jachères. Par contre, c'est bien la mise en culture et finalement le raccourcissement des jachères qui viennent à bout de la fragile structure du sol et facilitent la formation des croûtes.

« Pour la plupart des auteurs, l'encroûtement modifie rapidement les propriétés hydrauliques de surface, en particulier le taux d'infiltration, à travers deux facteurs temporels : l'épaisseur de la croûte et/ou sa conductivité hydraulique (Tackett et Pearson, 1965 ; Morin *et al.*, 1981 ; Hadas et Frenkel, 1982). Une autre conséquence de la dégradation de l'état structural liée à la formation des croûtes est la compaction de la surface du sol (Canarache, 1965 ; Valentin, 1981) pouvant affecter l'émergence des semis et le stockage de l'eau dans le sol (Arndt, 1965 ; Boiffin, 1984). En zone semi-aride de l'Ouest africain, la croûte d'érosion, caractérisée par une fine pellicule plasmique (mélange de particules fines d'argile et de limon) colmatant un horizon sous-jacent tassé, serait un des états de surface qui influencerait de façon extrême l'ensemble de ces propriétés (Casenave et Valentin, 1992)» (Ambouta *et al.*, 1996).

## Une diminution forte de l'infiltration entraînant un accroissement fort du ruissellement

Albergel (1987) et Albergel et Valentin (1988) ont été les premiers à mettre en évidence l'augmentation des écoulements en Afrique sahélienne. En effet, ils ont constaté une augmentation des coefficients d'écoulement, voire localement, des débits, au moment où la sécheresse était la plus accentuée (milieu des années 1980). Comme la cause ne pouvait pas en être climatique (la pluviométrie était au plus bas), ils en ont déduit que c'était la couverture végétale, reflet de l'occupation des sols, qui par sa modification profonde avait modifié les conditions du ruissellement. Ils ont observé une forte augmentation de la surface occupée par les champs ; or, d'après eux, « le

doublent des zones cultivées, la division par deux des jachères, le défrichement des zones marginales, des années très déficitaires en pluie (ce qui tend à laisser le sol nu) sont les facteurs qui favorisent la dégradation des sols par érosion hydrique » (Albergel et Valentin, 1988). Et de fait, ils montrent aussi dans la même étude que de 1956 à 1980, les surfaces très érodées que l'on peut considérer comme impropres à la culture ont été à peu près multipliées par 20 sur leur bassin d'étude (celui de Kognéré, au nord-est de Ouagadougou sur le plateau mossi). Pour eux, l'augmentation démographique rapide (2,6 % par an) conjuguée à une pluviométrie déficitaire pousse les agriculteurs à modifier leurs pratiques culturales : « Une des réponses adoptées face à la faiblesse des rendements est l'extension des cultures. Les nouvelles zones érodées apparaissent surtout lors de la mise en culture de la zone de piedmont aux sols peu épais, sous les cuirasses ferrugineuses, ainsi que des zones de bas-fonds, qui deviennent l'une et l'autre, assez vite (quelques années), des surfaces érodées à sables grossiers ». Ce bassin étant situé plutôt en zone soudano-sahélienne qu'au Sahel, ils concluent qu'on assiste à une « sahéliisation » des zones soudaniennes.

C'est exactement ce qu'on a observé au Fakara (ouest du Niger) dans les décennies 1990 et 2000. Les études à petite échelle ont montré une augmentation forte des surfaces cultivées (Loireau, 1998 ; Otlé et al, 2005 ; Leblanc *et al.*, 2008) et la plupart notent aussi une augmentation des surfaces de sols dégradés.

Récemment, des études ont bien montré le lien entre changement d'usage des sols et cycle hydrologique. Certaines ont été menées dans le cadre du programme AMMA et se sont intéressées à la région proche de Niamey (Niger) ; d'autres, en lien avec ce programme, ont été menées en collaboration entre l'IRD et l'ABN (Autorité du Bassin du Niger) (fig 7).

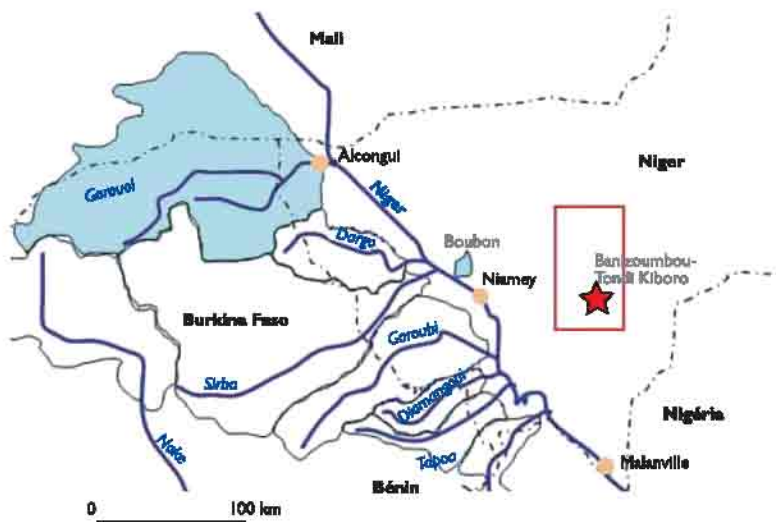


Figure 7.

Localisation des sites de mesures de l'évolution des usages des sols et des modifications hydrologiques concomitantes.



Il a été constaté tout d'abord, à l'échelle ponctuelle, une diminution sensible de la conductivité hydraulique sur les secteurs encroûtés. Le tableau 1 montre que l'encroûtement des sols (qu'il s'agisse de la croûte ERO évoquée plus haut comme étant la plus répandue et celle dont l'extension spatiale est la plus rapide) se traduit par une forte augmentation du ruissellement et de l'érosion, ce qui est dû (colonne de droite) à la très forte diminution de la perméabilité des sols, caractérisée ici par sa mesure physique, la conductivité hydraulique, mesurée à l'aide d'infiltromètres à succion contrôlée (Amogu *et al.*, 2012).

Tableau 1.  
Caractéristiques hydriques des principaux types d'occupation des sols  
(Amogu *et al.*, 2012).

Type de surface	Coefficient de ruissellement %	Érosion en kg. ha <sup>-1</sup>	Conductivité hydraulique mm. hr <sup>-1</sup>
Mil sur sol non encroûté	3,8	373	162
Jachère sur sol non encroûté	10,5	881	108
Croûte ERO	60	5 566	18
Croûte ALG	26	863	31

Ces mesures représentent la moyenne de dizaines de mesures sur ces surfaces représentatives. Les mesures de ruissellement et d'érosion ont été obtenues sur des parcelles instrumentées (fig. 8). Celles-ci sont équipées de collecteurs ; après chaque événement pluvieux, on mesure le total des volumes d'eau et de sédiments transportés. Les surfaces de croûte ERO, telle qu'elle est représentée sur la figure 8, sont en forte croissance dans tout le Sahel. On a montré plus haut comment Casenave et Valentin (1989) expliquaient leur formation et leur extension dans l'espace, à partir de l'évolution des usages des sols.



Figure 8.  
Une parcelle « jachère sur sol non encroûté » et une parcelle « croûte ERO »  
(site de Bouban, 2012).

Ces résultats ont été acquis dans les zones sédimentaires du Continental Terminal (bassin des Iullemeden, Niger occidental) ; mais des mesures réalisées en zone de socle sous le même climat montrent le même accroissement de ruissellement avec l'encroûtement croissant des sols. À l'échelle de petits bassins de quelques hectares, l'accroissement constaté des zones de sols encroûtés entre 1993 et 2007 (fig. 9), dont la surface a doublé entre les deux dates, s'est traduit par une augmentation de 50 % des écoulements, ce qui ne traduit qu'imparfaitement l'accroissement du ruissellement, car il a été déterminé que d'importants volumes d'eau s'infiltraient dans le lit des ravines principales (Amogu *et al.*, 2012).

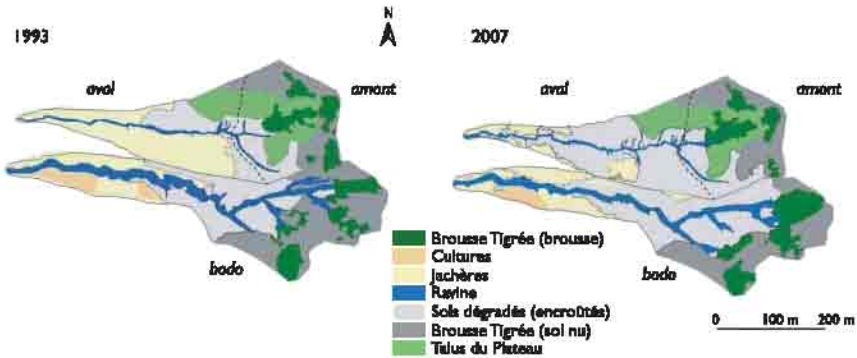


Figure 9.  
Évolution des occupations des sols des bassins expérimentaux de Tondi Kiboro (Ouest du Niger, voir localisation figure 7) entre 1993 et 2007. On constate un doublement des surfaces de sols encroûtés (Souley Yéro, 2008 ; Amogu *et al.*, 2012).

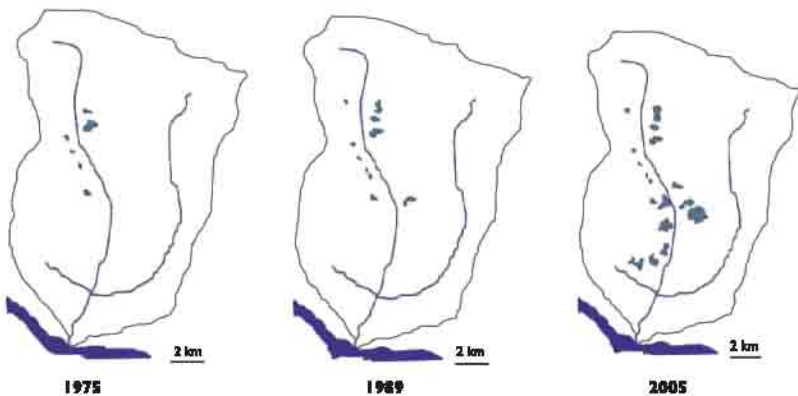


Figure 10.  
Évolution des surfaces de sols encroûtés (croûte ERO majoritairement) sur le bassin versant de Boubon (160 km<sup>2</sup>), à 25 km en amont de Niamey, rive gauche du Niger.

À une échelle plus grande de bassins de plusieurs dizaines voire centaines de km<sup>2</sup>, se jetant directement dans le fleuve Niger, tel celui de Boubon, en rive gauche et en amont de Niamey (voir figure 7), on constate encore une augmentation des surfaces de sols encroûtés (fig. 10). Celle-ci s'est traduite, à l'échelle régionale par une augmentation d'un ordre de grandeur des débits de ces affluents directs, certains devenant de nouveaux affluents du fleuve Niger après avoir été des dépressions endoréiques depuis la péjoration hydrologique post-Atlantique. Le cumul de ces nouveaux apports peut représenter jusqu'à plusieurs milliards de km<sup>3</sup> par an, depuis la fin des années 1990 (Amogu *et al.*, 2010).

On constate le même type de dégradation à grande ampleur dans le Fakara, qui est l'ensemble de la région de Banizoumbou-Tondi-Kiboro avec l'accroissement notable des zones de cultures et des zones de sols dégradés et encroûtés (fig. 11).

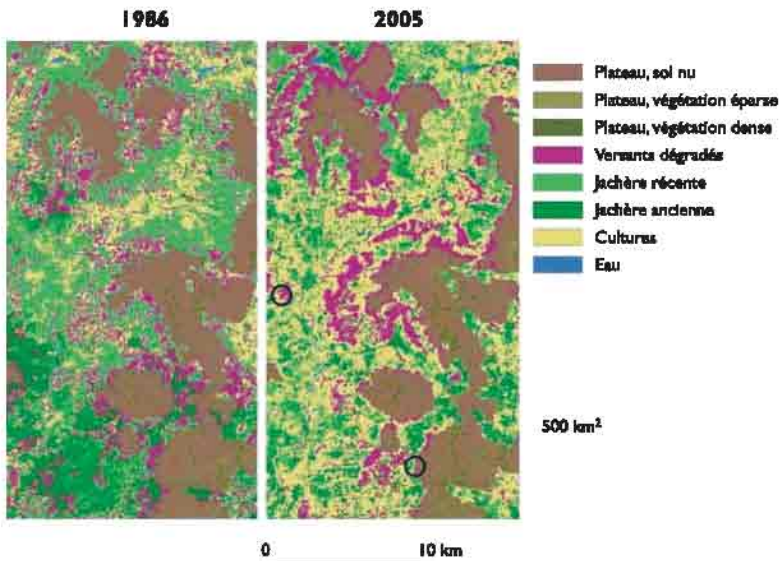


Figure 11.  
Évolution de l'occupation des sols dans la région de Banizoumbou-Tondi Kiboro  
entre 1986 et 2005 (Otté et al., 2007).

Cette région est située en zone endoréique. On a vu plus haut que, à l'échelle locale, on avait mesuré de forts accroissement de l'écoulement (site de Tondi Kiboro) ; à l'échelle régionale, comme l'eau finit toujours dans des dépressions fermées et que, par ailleurs, les mares ont été définies comme les principales zones de recharge de la nappe (Leduc *et al.*, 2001), cet accroissement des écoulements observés en zone endoréique se traduit par une remontée sensible de la nappe phréatique, de l'ordre de la dizaine de centimètres par an à la fin du siècle passé, plutôt autour de 30 cm par an actuellement (Leduc *et al.*, 2001 ; Leblanc *et al.*, 2008).



Cette évolution des occupations des sols s'observe aussi à l'échelle des grands bassins affluents du fleuve Niger. La figure 12 montre une portion représentative du bassin du Gorouol, l'un des principaux affluents sahéliens du fleuve Niger, en rive droite (comme vu ci-dessus, les secteurs de rive gauche sont majoritairement endoréiques). On constate une forte diminution de la couverture végétale durant les deux dernières décennies du  $xx^e$  siècle (Amogu *et al.*, 2010).

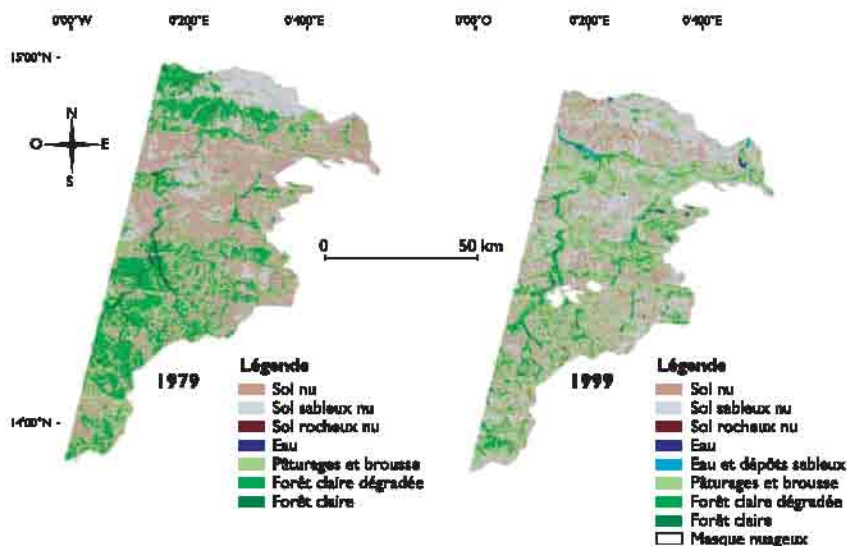


Figure 12.

Cartes de l'occupation des sols de la partie aval du bassin du Gorouol, issues de la télédétection d'images Landsat ; on constate une forte diminution des couverts végétaux (Amogu *et al.*, 2010).

## Évolution de l'occupation des sols sur l'ensemble de l'emplacement de la GMV

Une question récurrente, et qui est aussi à l'origine d'un grand nombre d'études et de plusieurs travaux basés sur la télédétection, c'est de savoir si le milieu (sol-végétation-eau) en Afrique de l'Ouest, et en particulier dans la bande soudano-sahélienne, est en voie de dégradation ou pas. La désertification est-elle toujours en cours ?

Les deux questions majeures sont :

– y a-t-il dégradation ou progression de la végétation et des milieux en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne ?

– l'évolution des NDVI, RUE, PPN/P est-elle un indicateur pertinent pour répondre à la question n°1 ?

À l'échelle locale des petits bassins versants expérimentaux de Wankama et Tondi Kiboro, on assiste indéniablement à une dégradation des sols et de la végétation (Souley Yéro, 2008) conduisant à une accélération du ruissellement. Par ailleurs, on note, sur les rares bassins instrumentés d'Afrique de l'Ouest, une augmentation continue des débits sans relation avec une augmentation des pluies. Ce dernier point conduit à penser que l'on assiste bien à une diminution de la capacité des sols et des bassins à conserver l'eau, ce qui est en principe en lien avec une diminution de la végétation et des capacités d'infiltration des sols. Mais le lien entre ces deux échelles de travail, malgré des travaux récents (Amogu, 2009 ; Descroix *et al.*, 2009 ; Amogu *et al.*, 2010) n'est pas encore suffisamment établi, et on manque toujours, du reste, de matériau permettant de régionaliser et spatialiser l'information obtenue expérimentalement à l'échelle ponctuelle ou locale.

Mais la très bonne synthèse récente de Fensholt et Rasmussen (2011) doit permettre d'y voir plus clair, même si ses résultats énoncés ne sont pas forcément toujours en adéquation avec ce que montrent ses figures. En effet si la figure 13a montre une progression générale du NDVI sur la région (moins franche d'ailleurs sur la partie ouest du Niger) entre 1982 et 2007, ce n'est pas le cas si on compare 1996 à 2007 (figure 14c), où la bande soudano-sahélienne est bien plus contrastée et où, clairement, l'ouest et le centre du Niger, c'est-à-dire les deux régions les plus peuplées du

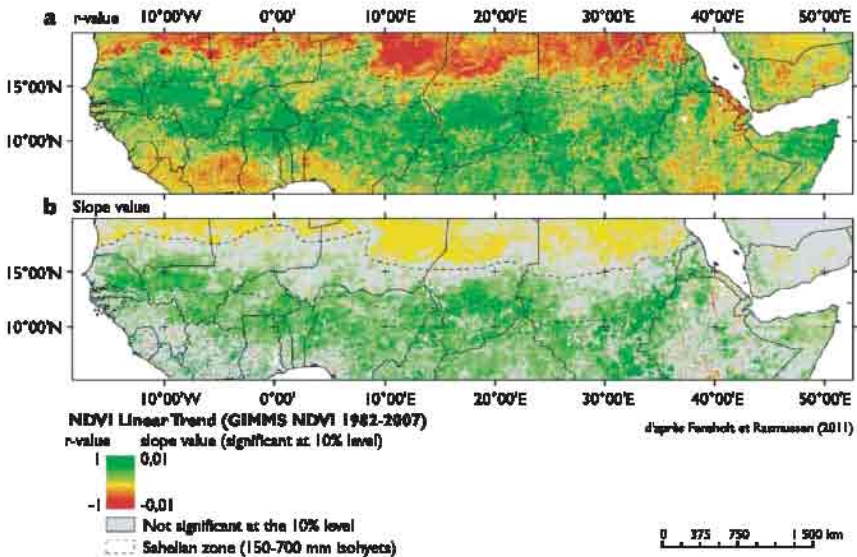


Fig. 13 a et b.

Carte de l'analyse de la tendance de la régression linéaire du GIMMS NDVI valeurs de  $r$  (a) et valeurs de pente (b) 1982-2007.

Seules les pentes fondées sur des tendances significatives au seuil de 10 % de confiance sont signalées dans la figure b.

La zone sahélienne est délimitée par les tiretés, représentant les isohyètes de 150 et 700 mm.

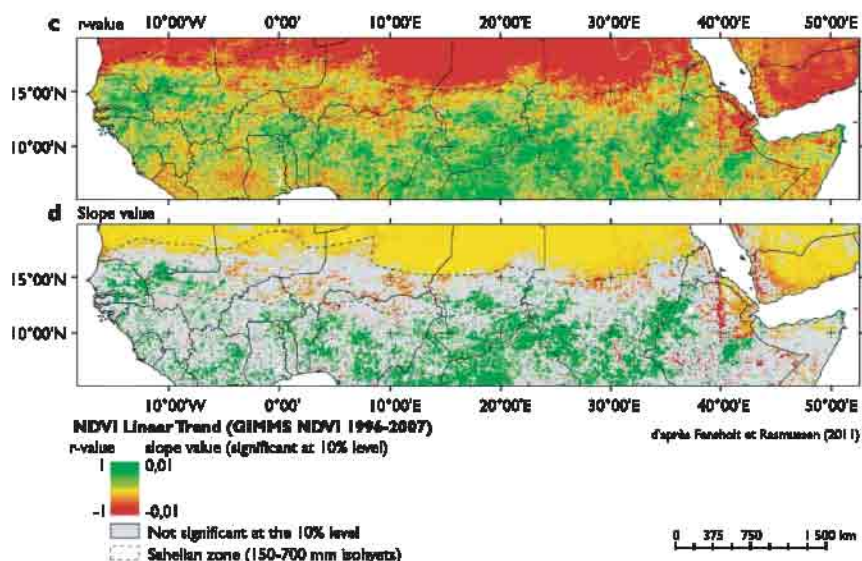


Fig. 14 c et d.

Carte de l'analyse de la tendance de la régression linéaire du GIMMS NDVI  
valeurs de  $r$  (c) et valeurs de pente (d) 1996-2007.

Seules les pentes fondées sur des tendances significatives au seuil de 10 % de confiance  
sont signalées dans la figure b.

La zone sahélienne est délimitée par les tirets, représentant les isohyètes de 150 et 700 mm  
(moyenne RFE 1996-2007).

pays, semblent voir régresser leurs valeurs de NDVI. Par ailleurs, sans rien enlever du très grand intérêt de ce travail de synthèse, est-ce que la comparaison 1982-2007 ne souffre pas, comme dans un précédent travail du même auteur sur les environs de la mare d'Oursi (Rasmussen *et al.*, 2001), d'un point de départ au creux de la sécheresse, et donc forcément d'un point bas des NDVI, après lequel la tendance ne pourrait qu'être positive ?

Cela confirme les tendances observées sur les cartes de Prince *et al.* (1998), sur lesquelles on peut constater que malgré un reverdissement général (durant la période succédant au creux le plus prononcé de la sécheresse, du milieu des années 1980) la zone du Niger central et sahélien (à cheval sur le Burkina et le Niger) continue à perdre de la biomasse. Une stagnation de la biomasse à partir de la fin des années 1990 est également observée par I. Garba de Agrhymet (travaux en cours). Les données de Fensholt et Rasmussen (2011) sont étayées par une troisième carte représentant l'évolution du RUE (Rain Use Efficiency). Encore une fois, non seulement la progression de celui-ci à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest n'est pas flagrante, mais elle semble carrément négative sur l'ouest et le centre du Niger. Les observations réalisées pendant AMMA montrent que le site nigérien de ce programme est en fin de compte très peu représentatif de l'ensemble de la bande sahélienne (en poursuite de désertification alors que le reste reverdirait plutôt [Mougin, 2009]).



L'ensemble de ces résultats montrent globalement :

- une très forte diminution de la végétation naturelle, remplacée par cultures et jachères
- une très forte dégradation des sols, qui se traduit par une très forte érosion (par ravine et par dépressions hydro éoliennes) et de très importants dépôts sableux en bas de versants ;
- une dégradation des propriétés physiques des sols, due à un fort encroûtement (croûte de type ERO suivant classification de Casenave et Valentin, 1989).

Cela se traduit par une très forte baisse de la perméabilité des sols et donc de l'infiltration de l'eau, une forte augmentation des ruissellements, des écoulements et des débits ; comme on est dans une zone endoréique, ces eaux se concentrent dans les bas-fonds, formant des mares qui sont les principaux points de recharge de la nappe phréatique. Le niveau de celle-ci, dans le DCN, a donc monté de 3-4 m dans les 20 dernières années. Cependant, autant la forte augmentation de l'encroûtement et du ruissellement est un processus qu'on observe presque partout en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne, autant la hausse de la nappe ne concerne que certains secteurs endoréiques.

Malgré la conclusion des auteurs sur le reverdissement affirmé, on observe avant tout dans leurs cartes :

- une croissance de la végétation après 1986, au moment de la remontée de la pluviométrie
- une désertification persistante dans la partie centrale du Sahel après 1996 (Niger, nord du Burkina, est du Mali).

Par ailleurs, dans les montagnes du Tigré (nord de l'Éthiopie), on note une croissance forte des sols mis en cultures, du fait de la croissance démographique ; cela n'entraîne pas encore de fatigue des sols, mais une augmentation du ruissellement (Descheemaeker *et al.*, 2006) et de la consommation d'eau de pluie et une baisse de la nappe (Walraevens *et al.*, 2009).

## Évolution de l'occupation des sols et conséquences hydrologiques : augmentation des écoulements et du risque de crue

Les processus d'encroûtement des sols et d'accroissement des ruissellements décrits plus haut ont entraîné un accroissement des débits des cours d'eau sahéliens durant la grande sécheresse du Sahel (fig. 15). C'est ce que l'on appelle le « paradoxe hydrologique du Sahel » (Descroix *et al.*, 2009 ; Amogu *et al.*, 2010, Descroix *et al.*, 2012).

La figure 16 montre que ce n'est le cas strictement que des cours d'eau sahéliens et de quelques cours d'eau nord-soudaniens (Tapoa, Diamangou, Goroubi, tous affluents de droite du Niger). Mais de l'Atlantique au lac Tchad, on assiste bien à un accroissement des débits des cours d'eau sahéliens, en Mauritanie (Mahé et Paturel, 2009) et au Sahel central, au Burkina Faso, au Mali et au Niger (Nakambé, Gorouol, Dargol, Sirba) (Mahé *et al.*, 2003 ; 2005 ; Descroix *et al.*, 2009 ; Amogu *et al.*, 2010), ainsi qu'au Nigeria (Mahé *et al.*, 2011).

En l'absence d'explication climatique (ces augmentations se produisent pendant et en dépit de la sécheresse), il semblerait donc que les sols sahéliens ont changé de comportement. En zone soudanienne et guinéenne, par contre, les débits ont baissé avec le déficit pluviométrique (et en général plus fortement que la pluie), ce qui tendrait à montrer que les sols y ont conservé leur capacité de rétention en eau.

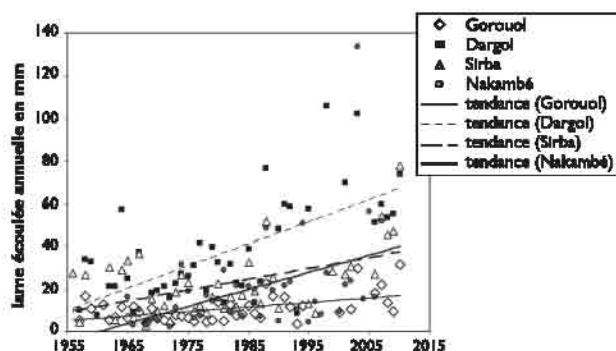


Figure 15.

Augmentation des débits des cours d'eau sahéliens durant la sécheresse :  
évidence du paradoxe hydrologique sahélien (Amogu *et al.*, 2010).

Depuis quelques années, on constate même une augmentation du risque de crue en Afrique de l'Ouest. Les paramètres climatiques n'ont pas évolué sensiblement : les pluies ont regagné une partie de ce qui avait été perdu dans les années 1968-1995, mais seulement dans la partie centrale du Sahel ; et par ailleurs, ni l'intensité des pluies, ni leur répartition spatiale ou temporelle n'ont évolué dans un sens pouvant expliquer cet accroissement des crues. On pense donc avant tout à la réponse des sols aux précipitations pour expliquer ce regain d'activité. Le tassement et l'encroûtement des sols facilitent le ruissellement, dans le même temps que la diminution de la couverture végétale réduit l'évapotranspiration. Tchakert *et al.* (2010) ont montré que les crues devenaient plus fréquentes ces dernières années au Sahel et dans toute l'Afrique de l'Ouest, alors même qu'on ne parle que des « dry spells » et de leur impact. Sécheresses et crues caractériseraient conjointement ces régions pour les prochaines décades. De même, Di Baldassare *et al.* (2010) montrent également une hausse du risque de crue sans qu'aucun élément climatique puisse l'expliquer, mais vue sous l'angle de la vulnérabilité accrue des sociétés, plus nombreuses, plus

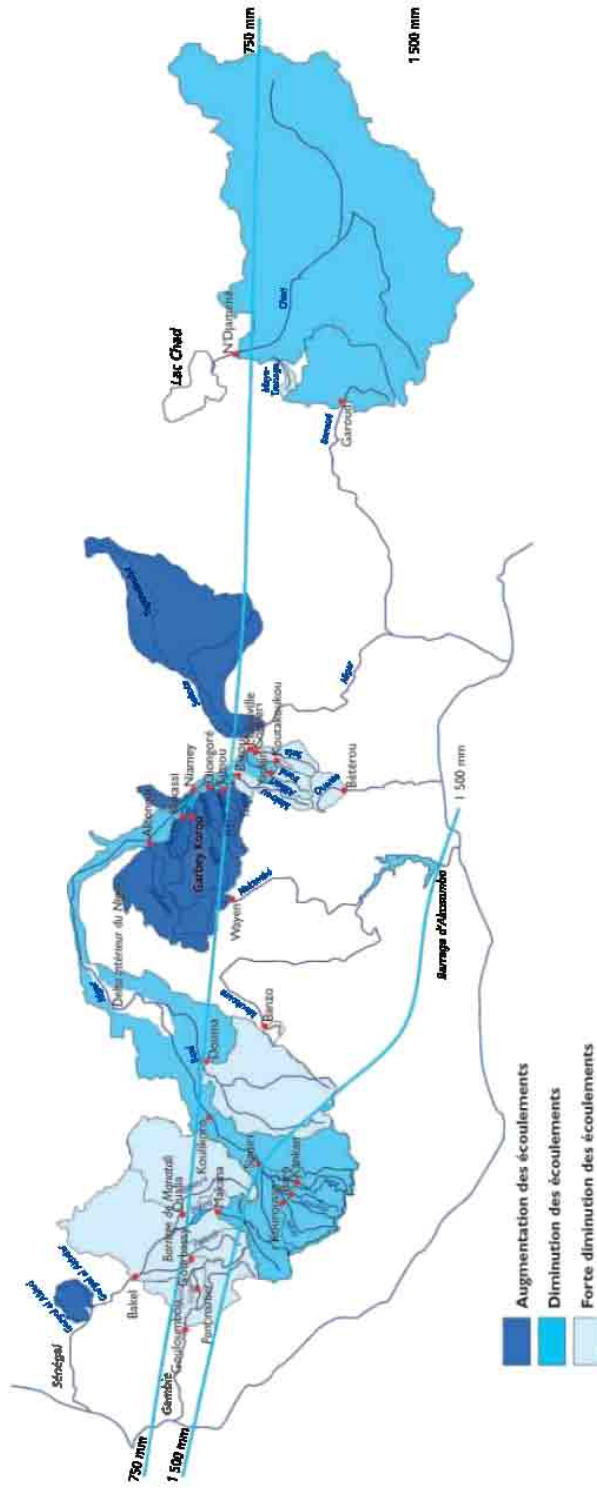


Figure 16. Évolution des débits des cours d'eau d'Afrique de l'Ouest et centrale durant la sécheresse (Mahé et Pataurel, 2009 ; Amogu et al., 2010 ; Mahé et al., 2011).

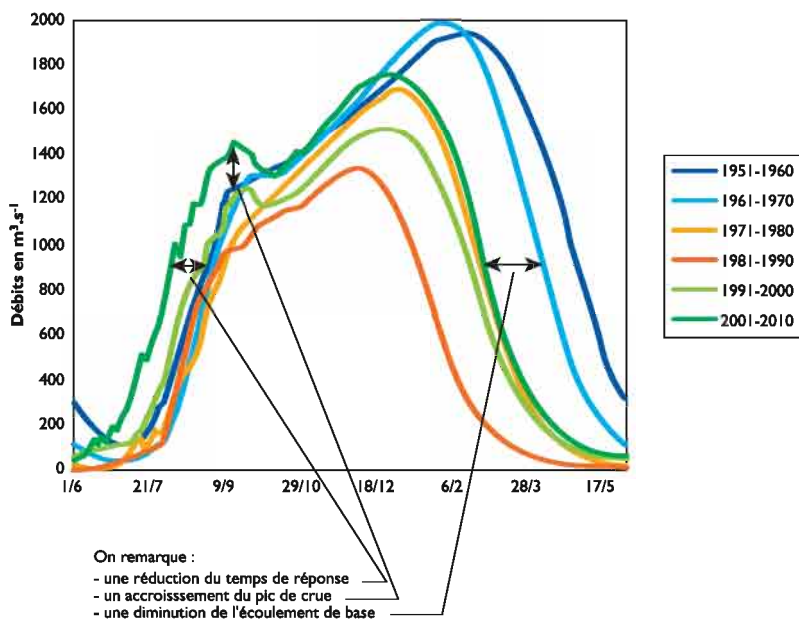


Figure 17.

Évolution du débit et du régime du Niger à Niamey depuis 1951 :  
mise en évidence d'une réduction de la capacité de rétention en eau des sols du bassin..

urbanisées et occupant plus de terroirs. Il semblerait toutefois que l'on assiste bien à un accroissement du risque de crue en lien avec les changements d'usage des sols, et des travaux récents (Descroix *et al.*, 2011) et en cours (fig. 17) montrent pour le fleuve Niger à Niamey, dont le bassin est assez vaste pour être considéré comme représentatif et intégrateur, des modifications significatives sur les deux dernières décennies (les enregistrements existent depuis 1929). Sans qu'aucun élément climatique ne vienne l'expliquer, on assiste durant la décennie 1990, et plus encore durant la suivante, à un ensemble de manifestations caractéristiques : une réduction du temps de réponse des sols et des bassins aux précipitations, une réduction de l'écoulement de base et un accroissement de l'écoulement de crue, signes d'une diminution de la capacité de rétention en eau des sols, donc d'une modification de leurs caractéristiques hydrodynamiques.

Ainsi la ville de Niamey a été inondée sévèrement durant le mois d'août, puis en septembre 2010, par les deux crues les plus fortes jamais observées durant la saison des pluies (crue « locale » ou crue « rouge ») depuis 1929. Or la pluviométrie enregistrée cette année-là dans le bassin concerné, c'est-à-dire les affluents sahéliens du fleuve entre Gao et Niamey, avait été dépassée 21 fois depuis 1950 sans provoquer de telles crues. Et ni l'intensité ni la répartition des pluies dans la saison ne permettent de mettre en avant un rôle des précipitations dans cette crue. Enfin, la réduction des écoulements de base se traduit par une augmentation du risque d'étiage des cours d'eau.

## Une diminution des rendements agricoles et l'urgence de les améliorer

La fatigue des sols évoquée plus haut se ressent bien sûr pour les sociétés en termes de production, et le constat est sans appel : les rendements baissent, obligeant comme on l'a vu les agriculteurs à étendre les zones de culture pour atteindre une production assurant l'autosuffisance d'une population croissante et pour compenser cette baisse des rendements.

La faible fertilité des sols et leur fragilité sont à la base de la baisse globale des rendements observée dans certaines régions du Sahel. Ben Mohamed *et al.* (2002) montrent bien pour le Niger que les rendements baissent en tendance à long terme entre 1967 et 1998, passant de 475 à 400 kg/hectare sur la moyenne des régions de Dosso (ouest du Niger), Maradi (Centre) et Zinder (Est). Cela est confirmé, à l'ouest du Niger, pour les rendements fourragers et pour la seule période post-sécheresse. Tous types d'occupations des sols confondus (cultures, jachères, pâturages), la productivité des terroirs en matières sèches passe de 1 700 kg/ha en 1994 à 1 000 en 2006 (Hiernaux *et al.*, 2009a), alors même qu'on est dans la période de relative récupération des précipitations et que, par ailleurs, les mêmes auteurs observent une croissance continue de la part cultivée de l'espace du terroir ; celle-ci passe de 45 à 55 % de l'espace total, ce qui devrait conduire à une augmentation de la biomasse fourragère car ils ont noté que la biomasse totale des champs de mil est sensiblement supérieure à celles de la jachère et des pâturages. Guengant et Banoïn (2003) ont observé, à l'échelle de l'ensemble du Niger, que l'accroissement des surfaces cultivées devait aller au moins aussi vite que celui de la végétation (fig. 18), étant donné qu'on assiste à une baisse des rendements moyens (fig. 19).

On constate donc simultanément :

- une diminution des rendements agricoles ;
- une baisse de la capacité de rétention en eau des sols ;
- une augmentation de l'érosion et une extension des sols encroûtés et dégradés ;
- une augmentation du risque de crue et d'étiage sur les cours d'eau en aval.

Ces éléments sont concomitants et posent aux sociétés des défis importants pour les prochaines années. Il faut simultanément lutter contre l'encroûtement et la fatigue des sols, la raréfaction de la végétation ligneuse, l'érosion et la perte en sols, le ruissellement trop rapide : il faut tout faire pour favoriser l'infiltration de l'eau dans les sols pour qu'elle profite avant tout au végétal, qu'il s'agisse de végétation naturelle, de cultures ou de pâturages (ces derniers sont en grande partie inclus dans les deux précédentes catégories). Il s'agit de reconstituer une rugosité qui doit être effective à deux échelles, celle de la micro-topographie afin de permettre l'infiltration de l'eau, et celle du paysage, car la végétation doit permettre de limiter l'érosion hydrique et éolienne. Comme on l'a vu précédemment, le système d'alternances cultures/jachères a atteint ses limites et il faut trouver d'autres moyens pour à la fois restaurer la fertilité des sols, accroître les productions, restaurer les terroirs, diversifier sources d'alimentation et de revenus.



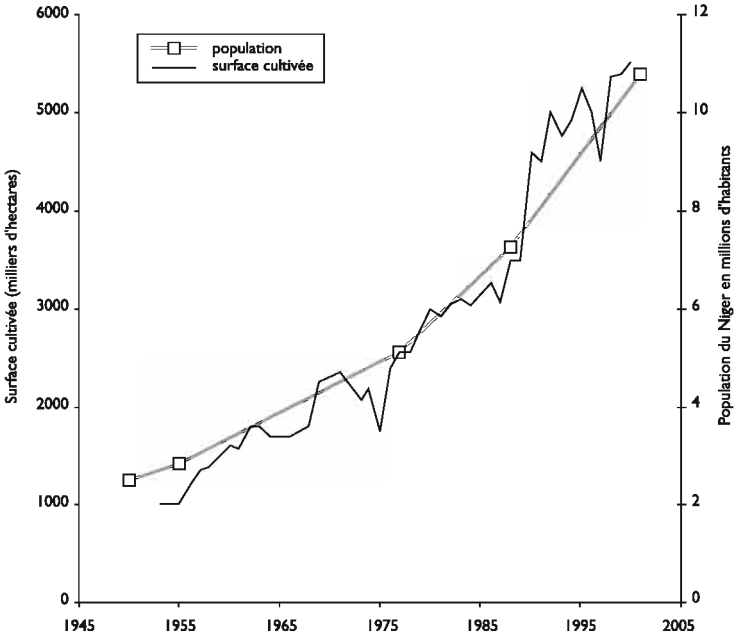


Figure 18.  
 Augmentation de la population et de la surface cultivée au Niger depuis 1950  
 (d'après Guengant et Banoin, 2003).

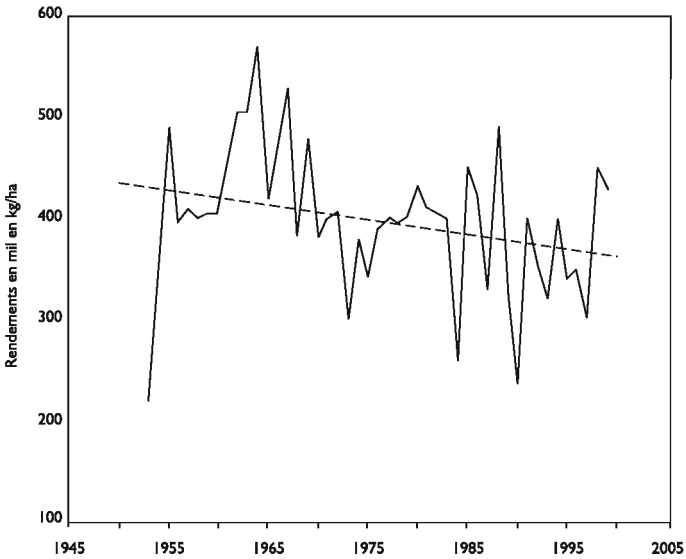


Figure 19.  
 Diminution des rendements moyens en mil au Niger depuis 1950  
 (d'après Guengant et Banoin, 2003).

On oppose souvent les théories d'Ester Boserup (1965) à celles de Malthus (1798). De fait, des chercheurs ont montré que dans certaines régions et dans certaines circonstances, la hausse de la population se traduisait par l'apparition d'un processus « vertueux » permettant l'émergence de systèmes agraires plus productifs au fur et à mesure de l'accroissement démographique. Et de fait, au moins deux exemples sont cités en Afrique subsaharienne de réussites de modèles « boserupiens ». Le premier concerne les villages Machakos de l'ouest du massif du mont Kenya (Kenya), qui ont su concilier restauration des terres, croissance démographique et hausse de la production agricole (Tiffen *et al.*, 1994). Au nord de la Côte d'Ivoire, Demont *et al.* (2009) décrivent une région, celle de Dikodougou, dans laquelle ils ont étudié l'évolution de 4 villages et où ils ont pu constater que processus « boserupiens » et « malthusiens » pouvaient coexister. À l'heure actuelle, ces modèles vertueux semblent peu en vigueur en Afrique subsaharienne, et on trouve plus de cas semblant répondre à la « tragédie des communs » (Hardin, 1968) ; mais c'est un point de vue potentiellement biaisé, et lié à l'absence de propriété privée dans la plupart des sociétés agraires subsahariennes (Descroix *et al.*, 2008).

De nombreuses expériences ont été tentées pour réussir cette « quadrature du cercle ». Le travail des ONG et des ingénieurs en agro-foresterie est remarquable à cet égard. Certains succès ont été enregistrés dans la restauration des terroirs, montrant que la désertification est rarement un processus irréversible ; ainsi, sur le nord du plateau central (plateau mossi) burkinabé (Reij *et al.*, 2005 ; Reij *et al.*, 2009) et dans certains secteurs du centre et de l'est du Niger (Larwanou *et al.*, 2006 ; Di Vecchia *et al.*, 2006 ; CRESA, 2006 ; Reij *et al.*, 2009), en particulier la région de Keita, celle dite des 3M (Maggia, Madarounfa, Maradi) ou encore vers Aguié et Zinder. Dans certains cas (plateau mossi, plateau de Keita), une remontée locale de la nappe phréatique est attribuée aux travaux de restauration des terroirs (Reij *et al.*, 2009) et aux seuils d'épandage de crues, comme près de Keita (CRESA, 2006).

Les travaux de restauration des terroirs sont à la portée des villageois avec un outillage basique (daba, pelles, pioches). Ils sont très classiques et répandus en Afrique de l'Ouest ; il s'agit d'abord des demi-lunes (fig. 20), des banquettes (fig. 21) et des cordons pierreux (fig. 22). Les zaï, dépressions d'ordre métrique creusées pour accumuler eau et matière organique, se sont répandus à travers le Sahel à partir du Burkina Faso. De nombreux travaux, adaptés aux montagnes, sont également réalisés dans les highlands d'Éthiopie et d'Érythrée (Nyssen *et al.*, 2000 ; Nyssen *et al.*, 2004 ; Descheemaeker *et al.*, 2006).

Les reboisements sont peu répandus et peu recommandés, étant donné le manque d'espace dont souffrent les sociétés sahéliennes depuis quelques années. On peut recommander le reboisement uniquement dans les secteurs réputés incultes ou vraiment très peu fertiles ; ainsi les plateaux latéritiques (fig. 23) sont adaptés aux reboisements en arbres utiles (gommiers, jujubiers, prosopis, balanites, etc.) ; ils y pousseront très doucement mais ne concurrenceront aucune autre activité. Les parcs à gaos (fig. 24) sont à développer, car ils sont une forme d'amélioration durable des terroirs ; en effet, *Faidherbia albida* est une variété d'acacia, une légumineuse réputée fixer l'azote dans le sol. Par ailleurs, leur présence limite sérieusement l'érosion tant hydrique qu'éolienne.



© L. Desroix

*Figure 20.*  
*Demi-lunes sur le versant nord du bassin de Tondi Kiboro (Niger).*



© L. Desroix

*Figure 21.*  
*Grande banquette rectangulaire pouvant accueillir 3 arbres.*



© L. Desroix

*Figure 22.*  
*Exemple de cordons pierreux bien réalisés (ici dans le bassin de la Sirba, au Burkina Faso).*



© L. Desroix

*Figure 23.*  
*Exemple de plantation de gommiers*  
*en cuvette réussie*  
*(Boubon, au nord de Niamey).*



© L. Desroix

*Figure 24.*  
*Parc à goo (Faidherbia albida)*  
*près de Banizaumbou*  
*(ouest du Niger).*

Contrairement aux idées reçues, les ressources en eau sont notoirement sous-utilisées au Sahel. Les réserves en eaux souterraines pourraient être extraites plus efficacement avec des systèmes d'exhaure animale à double téléphérique, ce qui permet de développer la petite irrigation villageoise sans dépendre aucunement de technologies extérieures. Cela autorise à la fois une forte augmentation de productivité, une diversification agricole et des revenus, et une amélioration substantielle des terroirs, avec une utilisation intensive et à haute intensité de main-d'œuvre des bas-fonds, de manière pérenne ; cela est aisé dans les zones sédimentaires, l'eau se trouvant rarement à plus de 70 m de profondeur (encore loin de la profondeur possible des puits traditionnels, qui peuvent dépasser les 100 m). C'est un peu plus compliqué dans les zones de socle, où les nappes d'eau souterraines sont bien plus réduites et surtout difficiles à localiser ; mais dans ces zones, le substratum rocheux autorise par contre le stockage de l'eau en surface dans des lacs collinaires. Cette technique a été développée avec succès au Burkina Faso, où de nombreux périmètres irrigués villageois sont alimentés par des lacs collinaires.

## Une action à entreprendre au niveau des villages, par les villageois

L'action de restauration doit être menée par les villageois avec les instruments locaux, et durant la saison sèche où la main-d'œuvre masculine est inemployée au Sahel durant de longs mois (de 6 à 9 mois suivant la latitude). Il est important que l'accès à l'eau soit aussi assuré par les villageois de manière à ne pas les rendre dépendants de techniques (et de techniciens) extérieurs : puits cimentés avec exhaure animale plutôt que forages motorisés ; par contre, les petits barrages des zones de socle ne sont pas aisément réalisables sans une intervention extérieure (ONG, organisme national, etc.).

Ces actions de restauration reposent sur 3 actions majeures, à savoir

- Constituer des pépinières, avant tout pour permettre l'essaiage des espèces utiles, autochtones ; en profiter pour aménager des jardins potagers et des vergers permettant de diversifier à la fois l'alimentation et les sources de revenus.
- Pérenniser les zones de cultures à haute valeur ajoutée dans les bas-fonds et/ou les zones très fumées.
- Promouvoir le rôle des sociétés rurales

« Cependant, si la désertification et le déboisement restent des faits d'actualité dans certaines régions du Niger, la tendance aujourd'hui, dans la région de Maradi comme en Ader, est au contraire à une multiplication des ligneux ; mais une multiplication maîtrisée, avec choix des espèces et des espaces reboisés.

Les perceptions paysannes de la nature et de sa dynamique ont changé, ainsi que les attitudes vis-à-vis des plantes et des végétations. Ces attitudes sont tout à fait diversifiées selon les lieux et selon les acteurs, et elles viennent contrebalancer ou au contraire amplifier l'effet négatif de l'aridification. Ce sont ces dynamiques sociales – en relation avec les dynamiques écologiques –, problématisées par l'analyse du changement de statut des plantes spontanées (c'est-à-dire celles dont le cycle n'est pas entièrement maîtrisé par l'homme), qui retiennent notre intérêt. » (Diarra et Luxereau, 2004).

Des auteurs ont souligné que les conditions de gestion des arbres révélaient les relations que les sociétés entretiennent avec leur environnement végétal. Ainsi le recul des ligneux et le lien entre régression de la forêt et désertification ont commencé à être sérieusement nuancés voire totalement remis en cause par les études récentes sur le reverdissement du Sahel, qui est une tendance forte due pour une bonne part à l'extension des couverts ligneux (A. Luxereau, comm. pers).

## Le rôle de la rétroaction

Depuis les travaux de Charney (1975) sur l'albédo, on estime très probable un rôle déterminant de la surface terrestre sur le climat sous forme d'une boucle de rétroaction. Taylor *et al.* (1998) avaient montré que les pluies pouvaient être persistantes sur un même site, signe que l'humidité préalable d'une surface pouvait influencer la localisation des pluies suivantes. Koster *et al.* (2004) ont également montré que certaines régions du globe (la vallée du Mississippi, la plaine Indo-Gangétique et le Sahel) étaient celles où l'humidité du sol était le mieux corrélée avec les précipitations et le climat.

Le débat scientifique sur le reverdissement du Sahel doit être tranché assez vite ; il s'agit de déterminer quelle est la part qui revient à la seule récupération partielle post-sécheresse. En effet, de cet éventuel reverdissement dépendent de nombreux

paramètres nécessaires à la priorité à accorder à la recherche mais surtout à la prise de décision. Comment expliquer qu'on ait à la fois reverdissement et diminution de la capacité de rétention en eau des sols ? Il y a probablement coexistence d'un reverdissement et d'une dégradation des sols, mais alors il faut bien la définir et en montrer les conséquences en termes de gestion des terroirs et des eaux.

Des travaux menés au Niger (Leblanc *et al.*, 2008 ; Souley Yéro, 2008 ; Amogu *et al.*, 2010) montrent une poursuite de la désertification, mais ils concerneraient une région (le degré carré de Niamey) non représentative de sa « latitude », donc de son géo-climat. De fait, des travaux menés par télédétection à l'échelle de tout le Sahel montrent que le cours du fleuve Niger moyen (région à cheval sur le Niger et le Burkina Faso) continuerait à perdre de la biomasse, contrairement au reste du Sahel (Prince *et al.*, 1998 ; Fensholt et Rasmussen, 2011). Toutefois, dans le Nord-Sahel où le reverdissement semble plus prononcé, il a été défini qu'un gros tiers de la surface serait désertifié (de manière irréversible sauf intervention active des sociétés) et se comporterait à l'image des zones très dégradées (ruissellement accéléré, érosion éolienne et érosion hydrique très fortes). Ce débat est primordial pour la modélisation climatique, car de cet éventuel reverdissement dépendent directement :

- un albédo diminué (en cas de reverdissement effectif) ou au contraire accru par la diminution de la végétation ligneuse ; or Charney a montré dès 1975 que l'albédo jouait un rôle clé dans la dynamique des climats ;
- une ETR amoindrie par la diminution de la teneur en eau des sols et la disparition de la végétation ligneuse ou au contraire accrue par un reverdissement ;
- l'humidité du sol, qui est liée aussi à la végétation puisque celle-ci permet l'infiltration de l'eau au moment de la pluie en limitant le ruissellement ; même si cette eau est prélevée essentiellement par la végétation (ETR), celle-ci n'en permet pas moins pendant plusieurs jours le maintien d'une humidité bien plus élevée que celle d'un sol nu. L'humidité du sol est connue pour jouer un rôle dans le climat (Koster *et al.*, 2004) ou dans la distribution spatiale des pluies (Pellarin, travaux publiés et en cours ; Taylor *et al.*, 2011).

Par ailleurs, comme le montrent bien Dupriez et De Leener (1990), la végétation joue un rôle très important dans le mini et le micro-climat ; on peut supposer que reverdir le Sahel pourrait produire un effet climatique régional.

Par ailleurs, d'autres auteurs ont montré l'importance de la macro-rugosité représentée par la végétation pour la répartition des précipitations (Escourrou, 1981) mais aussi pour limiter l'érosion éolienne et hydrique (Riboldi *et al.*, 2006). Autant de raisons qui rendent impérieuse une bonne connaissance de la vraie tendance de l'évolution de la couverture végétale sur l'Afrique de l'Ouest. Par ailleurs, la couverture végétale influence la température au sol, qui est elle aussi connue pour avoir beaucoup d'importance sur les transferts d'énergie, donc sur le climat (Taylor *et al.*, 2011).

Les programmes de recherche récents en Afrique de l'Ouest (HAPEX, AMMA, etc.) ont permis d'avancer substantiellement dans la connaissance du milieu et des causes possibles du grand changement climatique que représente le déficit pluviométrique

observé depuis 1968. Il reste quelques zones d'ombre à éclaircir pour comprendre les liens entre la surface et le fonctionnement des couches limites et des mécanismes de rétroaction surface/atmosphère. Le projet GMV peut être l'occasion de développer des travaux dans ce domaine, sachant qu'il y a urgence à faire des propositions aux décideurs et aux paysans permettant d'améliorer la sécurité alimentaire et de diversifier les sources de revenus.

## Conclusion

Il semble donc que la désertification ne soit pas forcément derrière nous ; l'essentiel de la progression de la végétation observée depuis le début des observations satellitaires à haute définition (Landsat TM dès 1982, SPOT à partir de 1986) a commencé après le moment le plus prononcé de la sécheresse, et un cumul d'années déficitaires. De ce fait, la végétation, dont une partie a disparu du seul fait de la sécheresse, ne pouvait qu'entamer un processus de récupération. Par ailleurs, malgré le reverdissement assez généralement noté, les cartes montrent bien que dans le Sahel central (est du Mali, nord du Burkina, tout le Niger), la dégradation de la végétation se poursuit. Or, avec elle se dégradent aussi très vite les sols mis à nu et très vite soumis à l'encroûtement, et l'ensemble de l'agrosystème, ce qui menace la sécurité alimentaire et surtout l'avenir des sociétés rurales. Ce processus de « désertification des sols » est réversible, et ce en se fondant uniquement sur le travail des paysans (pendant les 8-9 mois de saison sèche par exemple), sans aucun apport extérieur, et avec des techniques connues dont certaines (le zaï par exemple) sont issues du même milieu paysan, d'autres ayant été remises à la mode après avoir disparu du fait de la pression démographique (la RNA, régénération naturelle assistée). L'accès à l'eau, fondé sur des puits cimentés réalisés aussi en suivant le savoir-faire local pour les zones de terrains sédimentaires, et avec un appui extérieur pour la réalisation de petits barrages ou de puits et forages, doit être encouragé pour :

- libérer la main-d'œuvre féminine (remplacée avantageusement par des systèmes d'exhaure animale également bien connus dans la sous-région) ;
- permettre le développement dans les bas-fonds de systèmes de jardinage à haute intensité de main-d'œuvre aboutissant à une diversification de l'alimentation comme des sources de revenus et ainsi permettant d'utiliser la main-d'œuvre féminine partiellement libérée des corvées d'eau et surtout la main-d'œuvre masculine presque totalement inemployée durant la saison sèche.

Une intensification des systèmes de culture doit aussi viser une amélioration de la productivité de l'élevage, fondée sur une forte diminution du nombre de têtes de bétail, mais avec une production maintenue voire augmentée par la sélection et une gestion améliorée des troupeaux ; la disponibilité en fumure autour des villages serait ainsi préservée voire améliorée.

Le projet GMV est intéressant et novateur en ce sens qu'il propose comme objectif un « Sahel vert » plutôt qu'une véritable Muraille Verte qui serait un objet technocratique imposé et probablement voué à l'échec. Les expériences de récupération des terroirs tentées en Afrique sahélienne ont souvent remporté des succès, quand elles ont été acceptées par la population et adaptées de manière à ce que les travaux puissent être réalisés sans apport financier ou technique extérieur important.

## Références

- Ada, L., Rockstrom, J., 1993.  
*Diagnostic sur le système agricole du « Zarmaganda central »* (Niger).  
Master thesis of the INAPG, Paris, 82 p.
- Albergel, J., 1987.  
Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface — Application aux petits bassins du Burkina Faso. *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168.
- Albergel J., Valentin C., 1988.  
Sahélisation d'un petit bassin versant soudanien : Kognéré-Boulsa au Burkina-Faso.  
In : Bret B, éd. Les hommes face aux sécheresses, Nordeste brésilien-Sahel africain. Paris : EST/IHEAL, coll. Travaux et Mémoires 42 : 179-91.
- Ali, A. and Lebel, T., 2009.  
The Sahelian standardized rainfall index revisited.  
*Int. J. Climatol.* 29, 1705-1714.
- Amani, A. and Nguetora, M., 2002.  
Evidence d'une modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey.  
In Van Lannen, H., Demuth, S. (Eds). FRIEND 2002 regional Hydrology : bridging the gap between research and practice. Proc. of Friend Conf. Cape Town, S.A., IAHS Pub. 274 : 449-456.
- Ambouta, JMK, Valentin, C. et Laverdière, M., 1996.  
Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 7 ; 269-275.
- Amogu, O. 2009.  
*La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger : méthodes expérimentales et modélisation* ; Ph.D. Thesis ; Université Joseph Fourier : Grenoble, France, 440 p.
- Amogu O., Descroix L., Yéro K.S., Le Breton E., Mamadou I., Ali A., Vischel T., Bader J.-C., Moussa I.B., Gautier E., Boubkraoui S., Belleudy P., 2010.  
Increasing River Flows in the Sahel? *Water*, 2 (2):170-199.
- Amogu, O. Esteves, M., Descroix, L., Souley Yéro, K., Rajot, J-L., Malam Abdou, M., Boubkraoui, S., Lapetite, JM., Dessay, N., Zin, I., Bachir A., Bouzou Moussa, I., Le Breton, E., Mamadou, I., 2012.  
Runoff evolution according to land use change in a small Sahelian catchment. Soumis à *Hydrological Sciences Journal*.
- Anyamba, A. ; Tucker, C.J., 2005.  
Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA AVHRR NDVI data from 1981-2003. *Journal of Arid Environments*, 63 (3), 596-614.



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Ardoin-Bardin, S., Dezetter, A., Servat, E., Paturol, J.E., Mahé, G., Niel, H., Dieulin, C., 2009. Using general circulation model outputs to assess impacts of climate change on runoff for large hydrological catchments in West Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 54 (1), 77-89.
- Arndt W., 1965. The nature of the mechanical impedance to seedlings by soil surface seals. *Aust J Soil Res* 3 : 44-54.
- Ben Mohamed, A., N. van Duivenbooden, and S. Abdoussallam. 2002. "Impact of Climate Change on Agricultural Production in the Sahel - Part 1. Methodological Approach and Case Study for Millet in Niger," *Climatic Change*, Vol. 54, No. 3, August, pp. 327-348.
- Block, P., 2011. Tailoring seasonal climate forecasts for hydropower operations, *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 1355-1368.
- Boiffin J., 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de doctorat. Paris : INAPG, 1984 ; 320 p.
- Boserup, E., 1965. *Évolution agraire et pression démographique*, trad. française de 1970, 224 p., coll. Nouvelle bibliothèque scientifique, Flammarion. Edition originale en anglais : *The Conditions of Agricultural Growth. The Economics of Agriculture under Population Pressure*. 124 pp., London and New York, 1965.
- Brabant, P. et Gavaud, M., 1985. Les sols et les ressources en terres du Nord Cameroun. Notices et Cartes, ORSTOM, 285 p.
- Canarache A., 1965. Les facteurs de la résistance mécanique des sols et les méthodes utilisées pour les étudier. *Sci. Soil* 2 : 89-107.
- Casenave, A. et Valentin, C., 1989. Les états de surface de la région sahélienne ; influence sur l'infiltration. Orstom Ed, coll. Didactiques, Paris, 231 p.
- Casenave A, Valentin C., 1992. A runoff capability classification system based on surface feature criteria in semiarid areas of West Africa. *J Hydrol* 130 : 231 -49.
- Charney, J.G., 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *QJRM*, 101, 193-202.
- Chinen, T., 1999. Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna. southwest of Niger. In *Human Response to Drastic Changes of Environments in Africa* ; Faculty of Economics, Ryutsu Keizai University publication N°120 : Hirahata, Ryugasaki, Japan, pp. 67-102.
- CRESA, 2006. *Impacts des investissements dans la gestion des ressources naturelles (GRN) au Niger : rapport de synthèse* ; CRESA : Niamey, Niger.
- D'Herbès, J.M. and Valentin, C. Land surface conditions of the Niamey region : ecological and hydrological implications *Journal of Hydrology* 188-189 (1997) 18-42, 1997.
- Demont, M., Jouve, P., Stessens, J. and Tollens, E., 2007. Boserup versus Malthus revisited: Evolution of farming systems in Northern Côte d'Ivoire. *Agricultural Systems*, 93: 215-228.
- Descheemaeker, K., Nyssen, J., Poesen, J., Raes, D., Haile, M., Muys, B., Deckers, S., 2006. Runoff on slopes with restoring vegetation: A case study from the Tigray highlands, Ethiopia. *Journal of Hydrology* 331, 219-241.
- Descroix, L., Gonzalez Barrios, J.L., Viramontes, D., Poulencard, J., Anaya, E., Esteves, M., Estrada, J., 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountainous slopes : Their respective roles and the scale effect. *Catena*, 72 :325-339.
- Descroix, L., Mahé, G., Lebel, T., G., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry, J-C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelacere, B., Dessouassi, R., Diedhiou, A., Le Breton, E., Mamadou, I. Sighomnou, D. 2009. Spatio-Temporal Variability of Hydrological Regimes Around the Boundaries between Sahelian and Sudanian Areas of West Africa : A Synthesis. *J. of Hydrol., AMMA special issue*. 375, 90-102.

- Descroix, L., Genthon, P., Amogu, O., Sighomnou, D., Rajot, J-L., Vauclin, M., 2011. Recent hydrological changes of Sahelian rivers : the case of the 2010 red flood of the Niger River at Niamey. AGU, San Francisco, dec. 2011.
- Descroix, L., Laurent, J-P., Boubkraoui, S., Ibrahim, B., Cappelaere, B., Bousquet, S., G., Mamadou, I., Le Breton, E., Quantin, G., Boulain, N., 2012. Experimental evidence of deep infiltration under flat sandy areas. *Journal of Hydrology* 424-425, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.019>
- Diarra-Doka, M. & A. Luxereau, 2004.- déboisement-reboisement en pays hausa : évolution des paysages et du rapport à l'arbre. *Annales de l'Université Abdou Moumouni*, NS, Niamey, 139-153
- Di Baldassarre, G., Montanari, A., Lins, H., Koutsoyiannis, D., Brandimarte, L., et Blöschl, G., 2010. Flood fatalities in Africa : From diagnosis to mitigation Geophysical Research Letters, Vol. 37, L22402, doi :10.1029/2010GL045467, 2010
- Diello, P. ; Mahé, G. ; Paturel, J-E. ; Dezetter, A. ; Delclaux, F. ; Servat, E. ; Ouattara, F., 2005. Relations indices de végétation-pluie au Burkina Faso : cas du bassin versant du Nakambé. *Hydrol. Sci. J.* ,50, 207-221.
- Di Vecchia, A. ; Genesio, L. ; Pini, G. ; Sorani, F. ; Tarchiani, V., 2006. Monitoring drylands ecosystems dynamics for sustainable development policies : The Keita experience. *International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research Commemorating 50 Years of Drylands Research Tunis*. Tunisia 19 - 21 June 2006.
- Duley FL., 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci Soc Am Pro* ; 4 : 60-4.
- Dupriez, H. et De Leener, P., 1990. Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage. Manuel tropical. Terre et vie - CTA - L'Harmattan - ENDA Editions - Nivelles - Wageningen - Paris - Dakar - 1990 ; ISBN : 287105009X ; 380 p.
- Ellison WD. 1947. Soil erosion. *Soil Sci Soc Am Pro*. 12 :4 79-84.
- Escourrou, G., 1981. *Climat et Environnement*. Masson, Paris, 190 p.
- FAO-CILSS, 2008. [http://www.fao.org/nr/clim/docs/clim\\_080901\\_fr.pdf](http://www.fao.org/nr/clim/docs/clim_080901_fr.pdf)
- Fensholt, R. & Rasmussen, K. Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data. *Remote Sensing of Environment* 115, 438-451 2011.
- Floret C, Pontanier R, Serpantié G., 1993. La jachère en Afrique Tropicale. Dossier MAB 16. Paris : UNESCO, 86 p.
- Garba, I., 2010. Agrhyment engineer pan West African School of Agronomics, Hydrology and Meteorology, Niamey, Niger. Personal communication.
- Gardelle, J., Hiernaux, P., Kergoat, L. and Grippa, M., 2010. Less rain, more water in ponds : a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel. (Gourma region, Mali) *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 309-324.
- GIEC-IPCC, 2011: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf)
- Govaerts, Y.M. & Lattanzio, A. Estimation of surface albedo increase during the eighties Sahel drought from Meteosat observations. *Global and Planetary Change* 64, 139-145 (2008).
- Guengant, J-P., Banoïn, M., 2003. Dynamique des populations, disponibilités en terres et adaptation des régimes fonciers : le Niger. Pub. FAO-CICRED, 142 p.
- Hadas A, Frenkel H., 1982. Infiltration as affected by long-term use of sodic-saline water for irrigation. *Soil Sci Soc Am J.* 2 : 89-107.
- Hardin, G., 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* (162). 3859, 1243 - 1248.
- Hauchart, V., 2008. Culture du coton, pluviosité et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso).

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

*Sécheresse*, 19, 95-102.

Haywood M. 1981.

Évolution des terres et de la végétation dans la zone soudano-sahélienne du projet CIPEA au Mali.

Addis-Abeba : CIPEA/ILCA, 187 p.

Hein, L. et De Ritter, N., 2006.

Desertification in the Sahel : a reinterpretation. *Global Change Biology*, 12, 751-758.

Herrmann, S.M. ; Anyamba, A. ;

Tucker, C.J., 2005.

Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, 15, 394-404.

Hiernaux, P., Ayantunde, A., Kalilou, A.,

Mougin, E., Gérard, B., Baup, F.,

Grippa, M., Djaby, B., 2009a.

Trends in productivity of crops, fallow and rangelands in Southwest Niger : Impact of land use, management and variable rainfall.

*J. Hydrol*, 375, 65-77.

Hiernaux, P., Diarra, L., Trichon, V.,

Mougin, E., Soumaguel, N., Baup, F. 2009b.

Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali). *Journal of Hydrology, AMMA special issue*, 375, 103-113.

Hountondji, Y.C. ; Ozer, P., Nicolas, J., 2004.

Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. *Cybergéo : revue européenne de géographie*. 291 <http://hdl.handle.net/2268/3923>

Hulme, M., 1998.

The sensitivity of Sahel rainfall to global warming: implications for scenario analysis of future climate change impact. Water resources Variability in Africa during XXth century (Proceedings of the Abidjan 98 Conference held in Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998, IAHS Publ. n° 252, 429-436.

Hulme, M., 2001.

Climatic perspectives on Sahelian desiccation : 1973-1998. *Global Environment Change* 11, 19-39.

Karambiri, H. ; Ribolzi, O. ; Delhoume, J.P. ;

Ducloux, J. ; Coudrain-Ribstein, A., 2003.

Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed sahelian catchment. *Hydrol. Process*, 17, 1495-1507.

Koster, R.D. 2004.

Regions of Strong Coupling Between Soil Moisture and Precipitation. *Science Vol. 305 no. 5687 pp. 1138-1140 DOI : 10.1126/science.1100217*

Larwanou, M., Abdoulaye, M., Reij, C., 2006.

*Etude de la régénération naturelle assistée dans la région de Zinder (Niger) ; International Resources Group, USAID : Washington, DC, USA.*

Le Barbé, L. and Lebel, T., 1997.

Rainfall climatology of the HAPEX Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 188-189 : 43-73.

Lebel, T. ; Ali, A. , 2009.

Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *J. Hydrol.*, 375, 90-102.

Leblanc, M., Favreau, G., Massuel, S.,

Tweed, S., Loireau, M., Cappelaere, B., 2008.

Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*. 008, 61 (3), p.135-150 [doi:10.1016/j.gloplacha.2007.08.011](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.08.011)

Le Bissonnais Y., 1990.

Experimental study and modelling on soil surface crusting processes. In : Bryan RE, ed. Soil erosion, experiments and models. *Catena suppl.* 17 : 13- 29.

Le-Breton, E. 2005.

*Ensemblement des bas-fonds sahélien : étude des transferts sédimentaires au fleuve Niger dans le secteur moyen Niger -Mali ; Niger ; Bénin.* Master Thesis in Geomorphology ; Paris 7-Denis-Diderot University, Paris, France.

Leduc, C., Favreau, G. et Shroeter, P., 2001.

Long-term rise in a Sahelian water-table : the Continental Terminal in South West Niger. *Journal of Hydrology*, 243 :43-54.

Liéno, G. ; Mahé, G. ; Olivry, J-C. ;

Naah, E. ; Servat, E. ; Sigha-Nkamdkou, L. ;

Sighomnou, D. ; Ngoupayou, J-N. ;

Ekodeck, G-E. ; Paturel, J-E., 2005.

- Régimes des flux de matières solides en suspension au Cameroun : revue et synthèse à l'échelle des principaux écosystèmes ; diversité climatique et actions anthropiques. *Hydrol. Sci. J.*, 50, 111-123.
- Loireau, M.  
Espaces, ressources, usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes écologiques au Sahel nigérien.  
PhD Thesis of Geography,  
Université Montpellier 3, 410 p, 1998.
- Luxereau A. & B. Roussel, 1997.-  
*Changements écologiques et sociaux au Niger. Etudes africaines.*  
Ed. L'Harmattan, Paris, 239 p.
- Mahé, G., Leduc, C., Amani, A., Paturol, J-E. Girard, S., Servat, E., Dezetter, A. 2003, Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau.  
In *Hydrology of the Mediterranean and Semi-Arid Regions, proceedings of an international symposium. Montpellier (France), 2003/04/1-4*, Servat E., Najem W., Leduc C., Shakeel A. (Ed.), Wallingford, UK, IAHS, 2003, publication n° 278, p. 215-222.
- Mahé G., Paturol J.E., Servat E., Conway D., Dezetter A., 2005. Impact of land use change on soil water holding capacity and river modelling of the Nakambe River in Burkina-Faso. *Journal of Hydrology*, 300, 33-43.
- Mahé, G.  
Surface/groundwater interactions in the Bani and Nakambe rivers, tributaries of the Niger and Volta basins, West Africa. *Hydrol. Sci. J.* 54, 704-712 (2009).
- Mahé G., Paturol J.E., 2009. 1896-2006 sahelian annual rainfall variability and runoff increase of sahelian rivers. *C.R. Geosciences*, 341, 538-546.
- Mahé, G., Lienou, G., Bamba, F., Paturol, J-E., Adeaga, O., Descroix, L., Mariko, A., Olivry, J-C., Sangaré, S., Ogilvie, A., Clanet, J-C., 2011. Le fleuve Niger et le changement climatique au cours des 100 dernières années. *Hydro-climatology variability and change (Proceedings of symposium held during IUGG 2011, Melbourne, Australia)* ; IAHS pub. n° 344, 131-137.
- Mainguet, M., Canon-Cossus, L., Chemin, M.C., 1979. Dégénération dans les régions centrales de la République du Niger : degré de responsabilité de la nature du milieu, de la dynamique externe et de la mise en valeur par l'homme. *Trav. de l'Institut de Géographie de Reims*, 4039-40 : 61-73.
- Malthus, T., 1798.  
An essay of the principle of population. Printed for J. Johnson, in St Paul's Church-Yard, London.
- Mamadou, I., 2012.  
La dynamique accélérée des rivières de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger. Thèse de Doctorat de Géographie, Université Paris 1-Université de Niamey, 320 p.
- McIntyre D.S., 1958.  
Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. *Soil Sci* 85 : 261 -6.
- Morin J, Benyamini Y, Michaeli A., 1981. The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. *J Hydrol* 52 : 321 -35.
- Mougin, E., 2009.  
Vegetation dynamics over West-Africa during AMMA. Communication à la 3e Conférence Internationale AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), Ouagadougou, juillet 2009.
- Nyssen, J., Mitiku Haile, Moeyersons, J., Poesen, J., Deckers, J., 2000. Soil and water conservation in Tigray (Northern Ethiopia) : the traditional daget technique and its integration with introduced techniques. *Land Degrad. Dev.* 11 (3), 199-208.
- Nyssen, J., Poesen, J., Moeyersons, J., Deckers, J., Mitiku Haile, Lang, A., 2004. Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean Highlands—a state of the art. *Earth Sci. Rev.* 64 (3-4), 273-320.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Ottlé, C., C. André, M. Zribi, S. Saux-Picart, R. Lacaze, N. Boulain, B. Cappelaere, J.L. Rajot, L. Descroix, Land cover evolution over the Niger Supersite between 1986 and 2005 from SPOT-HRV data, 2nd International AMMA Conference, Karlsruhe, 26-30 November 2007.
- Prince, S.D., Brown de Colstoun, E., Kravitz, L., 1998. Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology*, 4, 359-374.
- Prince, S.D., Wessels, K., Tucker, C.J., et Nicholson, S.E., 2007. Desertification in the Sahel : a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Biology*, 13, 1308-1313.
- Rasmussen, K., Bjarne, F., Madsen, J-E., 2001. Desertification in reverse ? Observations from northern Burkina Faso. *Global Environmental Change*, 11, 271-282.
- Reij, C., Tappan, G., Belemvire, A., 2005. Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968-2002). *Journal of Arid Environments*, 63, 642-659.
- Reij, C. ; Tappan, G. ; Smale, M. , 2009. *Agroenvironmental Transformation in the Sahel, Another Kind of "Green Revolution" ; IFPRI Discussion Paper 00914, 2020 vision initiative ; IFPRI Pub, Washington, the USA.*
- Ribolzi, O., Hermida, M., Karambiri, H., Delhoume, J-P., Thiombiano, L., 2006. Effects of aeolian processes on water infiltration in sandy Sahelian rangeland in Burkina Faso. *Catena*, 67 (3) 145-154
- Ruelland, D., Tribotte, A., Puech, C., Dieulin, C. Comparison of methods for LUCC monitoring over 50 years from aerial photographs and satellite images in a Sahelian catchment. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (6), 1747-1777, 2011.
- Souley Yéro, K., 2008. L'évolution de l'occupation des sols à l'échelle des bassins versants de Wankama et Tondikiborou : Quelles conséquences sur les débits et l'évapotranspiration réelle (ETR). Mémoire de DEA, Université Abdou Moumouni de Niamey, 124 p.
- Tackett JL, Pearson RW., 1965. Some characteristics of soil crust formed by simulated rainfall. *Soil Sci* 9 9 : 407-13.
- Taylor, C., et Lebel, T., 1998. Observational Evidence of Persistent Convective-Scale Rainfall Patterns. *Mon. Weath. Rev.*, 126, 1597-1607.
- Taylor, C., Gounou, A., Guichard, F., Harris, P.P., Ellis, R.J., Couvreur, F. et De Kauwe, M., 2011. Frequency of Sahelian storm initiation enhanced over mesoscale soil-moisture patterns. *Nature Geoscience Letters*, DOI : 10 :1038/NNGEO1173.
- Tiffen, M., Mortimore, M., and Gichuki, F., 1994. *More people, less erosion : Environmental recovery in Kenya*. John Wiley & Sons, London, 311 p.
- Tschakert, P., Sagoe, R., Ofori-Darko, G. & Codjoe, S.M. Floods in the Sahel : an analysis of anomalies, memory, and participatory learning. *Climatic Change* 103, 471-502 (2010).
- Valentin C. 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région sub-désertique (Agadez-Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Université Paris 7, 259 p.
- Walraevens, K., Vandecasteele, I., Martens, K., Nyssen, J., Moeyersons, J., Gebreyohannes, T., De Smedt, F., Poesen, J., Deckers, J. et Van camp, M., 2009. Groundwater recharge and flow in a small mountain catchment in northern Ethiopia, *Hydrological Sciences Journal*, 54:4, 739-753.

Partie III

Valorisation  
et gestion  
des systèmes  
agro-sylvo-pastoraux



# Zaï et potentiel de l'association cultures annuelles - arbustes natifs

RABAH LAHMAR

Agronome et pédologue

CIRAD, UPR Systèmes de cultures annuelles, Avenue Kennedy, 01 BP596, Ouagadougou, Burkina Faso –

rabah.lahmar@cirad.fr

2iE, Laboratoire hydrologie et ressources en eau, 1, rue de la Science

01 BP594 Ouagadougou, Burkina Faso

HAMMA YACOUBA

Agronome

2iE, Laboratoire hydrologie et ressources en eau, 1, rue de la Science

01 BP594 Ouagadougou, Burkina Faso

## Résumé

La dégradation des terres en Afrique subsaharienne accentue l'effet de la sécheresse et de la faible fertilité des sols sur la production agricole, aggrave l'insécurité alimentaire et accroît la vulnérabilité des populations et des ressources de base. En réponse, les paysans ont développé des pratiques qui, pour certaines, ont bénéficié du support de la recherche et du développement. Le zaï et le mulch, c'est-à-dire la couverture du sol par des ressources organiques mortes, permettent de récupérer rapidement les propriétés hydrophysiques des sols dégradés en stimulant l'activité biologique. L'amélioration subséquente de la fertilité conduit à la restauration des fonctions du sol, la production primaire est augmentée. Cependant, malgré leur efficacité, la diffusion de ces deux pratiques reste limitée du fait de la faible disponibilité des ressources organiques : fumier, compost ou encore les résidus de cultures qui sont prioritairement destinés à l'élevage. Le mulch peut être dérivé de la strate ligneuse mais bien souvent s'y opposent la faible disponibilité sur site et l'investissement nécessaire en travail ou pour le transport à partir des sites avoisinants. Une autre alternative moins connue et peu investiguée consiste en l'intégration d'arbustes natifs, particulièrement *Piliostigma reticulatum* et *Guiera senegalensis*, dans le système de culture. Dans certaines localités, les paysans maintiennent ces deux arbustes dans les champs cultivés et les gèrent annuellement, de façon ingénieuse. Pendant la saison sèche les arbustes se développent en touffes multitiges, ils réduisent l'érosion éolienne, interceptent les particules minérales et les matières organiques déplacées par le vent et, piègent les poussières transportées par l'harmattan. À l'entrée



de la saison humide, ils sont coupés au ras du sol pour faire place aux cultures, les branches sont étalées en mulch sur le sol. La culture qui est généralement une céréale à laquelle est associé ultérieurement le niébé est installée par semis direct manuel au travers du mulch. À la montée de la céréale, les branches effeuillées sont ramassées pour servir de combustible. Les premiers rejets des souches sont gérés comme des adventices, ceux arrivant après le second désherbage sont laissés croître. À la récolte de la céréale, l'arbuste repart et ainsi de suite. Ce système ingénieux associant cultures annuelles et plantes pérennes dans lequel l'arbuste joue un rôle central de facilitation pour la culture peut conduire à l'amélioration de la fertilité du sol et de la production agricole, voire à l'intensification écologique des systèmes de culture actuels. Par ailleurs, *Piliostigma reticulatum* et *Guiera senegalensis* sont sempervirents et se développent tout au long de la bande sahélienne, de l'Atlantique à la mer Rouge et, ils sont connus des paysans pour leurs usages multiples. Un effort de recherche est nécessaire pour mieux connaître ces systèmes afin d'en améliorer les performances.

#### Mots clés

AFRIQUE SUBSAHARIENNE, ZAÏ, MULCH, ASSOCIATION CULTURE-ARBUSTES NATIFS

## Abstract

Land degradation in Sub-Saharan Africa increases the effect of drought and low soil fertility on agricultural production, the food insecurity and, the vulnerability of the populations and the basic resources. As response, farmers developed practices that received partly research and development support. Zaï and mulching, i.e. soil cover with died organic resources, allow the rapid restoration of the hydro-physical properties of initially degraded soil through the triggering of the soil biological activity. Subsequent improvement of soil fertility leads to the restoration of the soil deteriorated functions and an increased primary production. However, despite their efficiency, the dissemination of both practices remains limited due the scarcity of the organic resources: manure, compost, and crop residues that are primarily oriented to livestock. The mulch may be derived from the ligneous strata but this is always challenged by the low availability on-site and the investments needed for off-site collection and transportation. Another less known and investigated alternative lies in the integration of native shrubs, mainly *Piliostigma reticulatum* and *Guiera senegalensis*, into the current cropping systems. In some localities, farmers keep both shrubs within their cultivated plots and manage them ingeniously the year around. Both species grow during the dry season and develop multi-stems shrubs. They reduce wind erosion and trap mineral and organic material moved by the wind and, they capture the Harmattan dust. At the start of the rainy season, they are coppiced at the soil to clear the land prior to crop installation, the cut branches with leaves are spread on the ground as mulch. The crop is generally a cereal which is

hand seeded through the mulch and, later, cowpea is installed as intercrop. When cereal grows, the cut branches are collected as fuel wood. First stump shoots are managed as weeds, the following are saved. At the crop harvest, the shrub reforms and continues growing during the dry season. In this ingenious system the perennial plants play a key role vis-à-vis the annual crop. Such a system may lead to the improvement of soil fertility and the agricultural production or even to the ecological intensification of the current cropping systems. In addition, *Piliostigma reticulatum* and *Guiera senegalensis* are evergreen shrubs that develop along the Sahelian belt, from the Atlantic to the Red Sea and, they are multi-use species known by the farmers. A research effort is needed to better understand these systems for improving their performances.

#### Key words

SUB-SAHARAN AFRICA, ZAÏ, MULCH, CROP-NATIVE SHRUBS INTERCROPPING

## Introduction

L'insécurité alimentaire demeure un problème majeur en Afrique subsaharienne (Kidane *et al.*, 2006). Les perspectives du changement climatique et de l'accroissement de la population mettent encore plus de pression sur les décideurs, les acteurs du développement et la recherche (Vermeulen *et al.*, 2012). Le défi est celui d'intensifier des agricultures essentiellement pluviales bénéficiant de peu d'intrants, pratiquées sur des sols qui opposent à la production agricole de nombreuses contraintes inhérentes, accentuées par les fréquentes dégradations qui les affectent (Lahmar *et al.*, 2011). Dans la majorité des sols des zones arides et semi-arides tropicales la fertilité tient essentiellement à la matière organique du sol (MOS), la texture du sol est souvent dominée par les sables et les minéraux argileux ont une faible réactivité. La MOS joue un rôle crucial dans la rétention, le stockage et la disponibilité de l'eau et des éléments nutritifs pour les cultures (Bationo *et al.*, 2007 ; Manlay *et al.*, 2007). Or, dans ces régions la MOS est particulièrement sensible aux changements d'utilisation des terres et à la gestion du sol. En général, la MOS décroît dans les sols cultivés, très rapidement pendant les premières années de mise en culture (Pieri, 1989 ; Feller et Beare, 1997 ; Kintché *et al.*, 2010). Pour Lal (2008), la baisse continue de la MOS dans les sols cultivés est le principal moteur des processus de dégradation des sols et par suite de la pauvreté, la faim et la malnutrition. Le maintien de la MOS dans les sols tropicaux continuellement cultivés est un réel défi pour la recherche. Le climat est propice à la dégradation de la MOS, la production de biomasse est faible et les systèmes de culture et de production actuels ne favorisent pas le retour de ressources organiques au sol.

Pour diverses raisons (Bindraban *et al.*, 2008 ; Barry *et al.*, 2008 ; Cobo *et al.*, 2010 ; Schlecht *et al.*, 2006 ; Vanlauwe et Giller, 2006), les approches et expériences tentées pendant les décades précédentes comme la conservation de l'eau et du sol

(zaï, demi-lune, cordons pierreux, etc.), l'agroforesterie, la gestion intégrée de la fertilité du sol, etc. n'ont pas abouti aux évolutions recherchées. Actuellement, l'agriculture de conservation, déjà proposée pour l'Afrique dans les années 1980 (Lal, 1989), regagne de l'intérêt. Elle est promue par les agences de développement, les ONG et bénéficie de politiques publiques favorables de certains pays (<http://ca2africa.cirad.fr/>). Sa faisabilité et son potentiel dans les conditions des petites agricultures subsahariennes sont discutés au regard des résultats des expériences précédentes (Baudron *et al.*, 2009 ; Giller *et al.*, 2009 ; Giller *et al.*, 2011). D'autres approches émergentes (Garrity *et al.*, 2010 ; Lahmar *et al.*, 2011 ; Tittonell *et al.*, 2012) privilégient le savoir, les pratiques et les ressources locales dans la conception de systèmes de culture et de production innovants, mieux adaptés aux petites agricultures sans intrants et dont la rentabilité et la durabilité tiennent des processus écologiques. En zones semi-arides et arides tropicales, il s'agit avant tout d'inverser les processus actuels de dégradation des terres en aggradation (Lahmar *et al.*, 2011 ; Tittonell *et al.*, 2012) y compris par un investissement initial lourd en travail du sol comme le zaï, par exemple. Le zaï permet de lever rapidement la contrainte hydrique du sol et favorise le retour de la biodiversité (Roose *et al.*, 1993). En encourageant par la suite la propagation de certaines espèces de la flore locale et en exploitant au mieux leurs services, on pourra élever la productivité primaire à des niveaux pouvant permettre l'installation de systèmes de culture sur mulch qui entretiennent la fertilité des sols et améliorent la production agricole à moindre coût. Ces considérations ont été développées par Lahmar *et al.* (2011) et Tittonell *et al.* (2012). Nous faisons ici une revue des connaissances sur le zaï et deux arbustes natifs : *P. reticulatum* et *G. senegalensis*, espèces multi-usages dont l'aire géographique s'étend le long de la ceinture sahélienne, de l'Atlantique à la mer Rouge. Localement, ces arbustes sont ingénieusement associés aux cultures. L'optimisation de cette association semble possible, elle demande que l'on comprenne et exploite au mieux les interactions cultures-arbustes associés.

## Le zaï

Les termes « zaï » au Burkina Faso, « tassa » au Niger et « Towalen » au Mali désignent une même technique, d'origine paysanne, qui consiste à creuser des cuvettes destinées à piéger et concentrer l'eau de ruissellement et les ressources transportées par l'eau et le vent pour faire croître une céréale dans des environnements arides et semi-arides, sur des sols dégradés (Roose *et al.*, 1993 ; Bouzou Moussa et Dan Lamso, 2004 ; Droux, 2008). En langue mooré (Burkina Faso), « zaï » vient du mot « zaïegré » qui signifie « se hâter pour préparer sa terre » (Roose *et al.*, 1993) ou encore, « se dépêcher », « faire vite », « se lever tôt et se hâter pour travailler sa terre », « travail vite fait et bien fait », « casser et émietter la croûte du sol par poquet avant le semis » (Droux, 2008). En langue Haoussa (Niger) « tassa » ou encore « taska » ou « taksa » signifie petite tasse servant à recueillir l'eau (Bouzou-Moussa

et Dan Lamso, 2004). Le mot est proche de l'arabe « Taàs » qui signifie récipient destiné à servir un liquide, plus généralement l'eau. Les Mossi se seraient inspirés du « towalen » développé sur le plateau Dogon (Dan Lamso, 2002). Cette technique trouverait ses origines dans l'agriculture nabatéenne et aurait été introduite au Sahel par les pèlerins musulmans (Bouzou-Moussa et Dan Lamso, 2004). Il s'agit donc d'une technique ancestrale, initialement pratiquée par des paysans pauvres pour produire des céréales sur des sols dégradés et indurés. Elle aurait été abandonnée dans les années 1950-1970 qui ont connu une meilleure pluviométrie et le développement de la mécanisation et des aménagements de bas-fonds. Les années de sécheresse qui ont suivi ont favorisé la reprise de la technique, dès les années 1980 (Burkina Faso) et 1990 (Niger), son amélioration et sa vulgarisation comme technique de récupération des terres dégradées (Roose *et al.*, 1993 ; Bouzou Moussa et Dan Lamso, 2004 ; Droux, 2008). Elle est supportée par des investissements publics et privés, notamment dans le cadre de projets de développement et des activités des ONG (Botoni et Reij, 2009).

Les cuvettes sont généralement creusées pendant la saison sèche, à la daba ou à la pioche. La terre est excavée et déposée en croissant à l'aval de la cuvette. La vulgarisation agricole conseille des cuvettes espacées de 80 à 120 cm, disposées en quinconce, de 40 cm de diamètre et de 10 à 30 cm de profondeur. Mais, dans la pratique, ces paramètres varient amplement (Droux, 2008), traduisant sans doute un compromis entre la nature et la dureté du sol, le type d'outil utilisé, la force de travail, le savoir et la stratégie de l'agriculteur. Sur le plateau Mossi (Burkina Faso), Droux (2008) a relevé des densités allant de 7 000 à 30 000 cuvettes à l'hectare. Par ailleurs, ce travail s'effectue dans des conditions de pénibilité avérée, par des températures de 40 à 45 °C (Clavel *et al.*, 2008). Le traitement initial d'un hectare de terre encroûtée en zaï peut nécessiter jusqu'à 300 heures.homme<sup>-1</sup> de travail, voire plus (Barro *et al.*, 2005 ; Mando *et al.* 2006), soit 60 jours de travail à raison de 5 heures par jour (Mando *et al.*, 2006). Droux (2008) rapporte jusqu'à 500 heures.hectare<sup>-1</sup>.homme<sup>-1</sup> de travail. Une tentative de mécanisation du zaï est en cours au Burkina Faso (Barro *et al.*, 2005), elle réduirait ce temps de travail par un facteur allant jusqu'à 10 (Clavel *et al.*, 2008). Pour les années suivantes, si l'agriculteur choisit de reprendre les anciennes cuvettes, le temps de travail est sans doute moindre, mais il n'est pas documenté. Dans une logique de récupération des terres dégradées, l'agriculteur creuse chaque année de nouvelles cuvettes dans les pluviiums des anciennes ; ainsi, le traitement total d'une parcelle peut demander 5 ans (Roose *et al.*, 1993).

Avant l'arrivée des pluies, l'agriculteur apporte à la cuvette des ressources organiques : poudrette<sup>1</sup>, fumier, compost, paille de céréales, feuilles et tiges d'arbustes fraîches ou sèches. Après la première pluie, il sème dans chaque cuvette une pincée de graines (12 à 20 selon la céréale) qui en levant ensemble, soulèvent la croûte de sédimentation qui se forme au fond de la cuvette. Au démariage, seuls 3 à 4 plants

---

1- Matière organique, séchée au soleil et réduite en poudre, formée d'un mélange de fèces, de litière, de compost, de cendres et autres résidus ménagers (Roose *et al.*, 1993).

sont laissés par cuvette. Au stade plantule, l'agriculteur, s'il en a les moyens, peut apporter un engrais minéral. Le sarclage intervient 20 à 30 jours après le semis (Droux, 2008).

### Fonctionnement du zaï

Du fait qu'elles soient préparées pendant la saison sèche, les cuvettes piègent les particules minérales et les matières organiques mises en mouvement par l'harmattan. En saison des pluies, elles piègent l'eau de ruissellement et son contenu.

Le fonctionnement du système, tel que décrit par Roose *et al.* (1993), repose sur la médiation des termites attirés par les ressources organiques piégées au fond de la cuvette ou apportées par l'agriculteur. Les pores et cavités créés par l'activité des termites le long du profil du sol et la cuvette fonctionnent comme un entonnoir favorisant l'infiltration de l'eau de ruissellement et la création de poches d'humidité en profondeur (Roose *et al.*, 1993). L'effet positif de l'activité des termites sur les propriétés hydrophysiques des sols tropicaux encroûtés est amplement établi (Mando *et al.*, 1996 ; Mando, 1997 ; Mando et Miedema, 1997 ; Mando *et al.*, 1999). L'activité des termites est stimulée par les ressources organiques de moindre qualité (Ouedraogo *et al.*, 2004). Le rendement grains de mil obtenu par Bouzou Moussa et Dan Lamso (2004) dans un traitement (zaï + pailles de mil) est 1,5 fois plus élevé que celui obtenu par le seul traitement zaï ; le zaï amendé avec un mélange de fumier et de la paille (zaï amélioré) permet de multiplier ce rendement par un facteur de 2 comparativement au zaï seul. Sur des sols sableux (84 à 92 % sables) du Niger où l'activité des termites est élevée, Fatondji (2002) et Fatondji *et al.* (2006) mettent en évidence des pertes d'eau par drainage sous le zaï. Cependant, cette médiation faunique est absente dans les sols vertiques où l'activité des termites est fortement réduite par le vertisme (gonflement et retrait) (Fatondji *et al.*, 2009). Fatondji (2002) observe que les rendements de mil peuvent chuter à cause de l'excès d'eau favorisé par le zaï sur un sol comportant des argiles gonflantes (25 % argile, 69 % sables). Cet aspect est également relevé par Bouzou Moussa et Dan Lamso (2004).

### Effet sur le sol

Sur le plateau Mossi, après deux ans d'expérimentation sur un sol ferrugineux tropical lessivé, induré, sur cuirasse à 30 cm de profondeur et un sol brun eutrophe tropical, peu évolué sur schiste vert et colluvion, Roose *et al.* (1993) et Kabore (1994) n'ont pas décelé de changements significatifs dans des propriétés physico-chimiques en lien avec la fertilité du sol : porosité, pH, C, N, P, CEC et cations échangeables. En revanche, ils ont noté des modifications dans la granulométrie et les ont attribuées au rôle de piégeage du zaï. Les possibles remontées de particules fines par les termites ne sont pas évoquées. Fatondji (2002) observe aussi des modifications rapides dans le pH et le complexe absorbant de sols sableux mais qui ne se produisent pas dans le sol argileux, ces modifications semblent être plus en liaison avec la qualité des ressources organiques apportées qu'avec l'effet zaï. Roose *et al.* (1993) concluent que la restauration de la productivité du sol et la réhabilitation de la couverture végétale seraient plus rapides que la restauration des

caractéristiques physico-chimiques du sol. Kabore (1994) souligne cependant le besoin d'expérimentations plus longues pour élucider cet aspect.

Le zaï améliore le stockage de l'eau par le sol et accroît sa disponibilité pour la plante (Fatondji, 2002) mais, sur les sols sableux, de faible capacité de rétention, la majorité de cette eau peut être perdue par drainage profond. 75 % de l'eau apportée par irrigation à un sol sableux (92 % sables) de la station Icrisat de Sadoré (Niamey, Niger) a été drainée dans les parcelles amendées avec 1 mg ha<sup>-1</sup> de résidus de cultures (Fatondji, 2002). L'auteur suggère que dans de telles conditions, l'amendement du zaï avec des ressources organiques de bonne qualité peut favoriser un développement rapide et profond du système racinaire qui peut limiter les pertes d'eau et des nutriments associés. Cependant, les résultats de Fatondji (2002) montrent que l'enracinement du mil reste concentré dans la couche 0-40 cm indépendamment du type de sol (argileux vs sableux) et du traitement (zaï vs plantation traditionnelle). Par ailleurs, le zaï apparaît comme une technologie appropriée pour réduire les effets de sécheresse liés à l'espacement des pluies. La simulation d'épisodes secs de 3 à 4 semaines pendant la saison des pluies (Fatondji, 2002) a montré que le mil cultivé en zaï souffre moins que celui cultivé de façon traditionnelle (poquet), il conclut que les épisodes secs affectent la réserve en eau du sol mais l'effet sur la culture en zaï est atténué. Roose *et al.* (1993) ont suggéré que le zaï tamponne l'effet d'une sécheresse durant deux à trois semaines si la capacité de stockage en eau du sol est suffisante. De ce fait, dans les sols peu épais, les sols à cuirasse ferrugineuse et les sols à faible capacité de rétention d'eau (sols sableux minéraux), le zaï serait moins efficace ; ils considèrent également que le zaï n'est pas approprié aux zones recevant moins de 300 mm, ni à celles recevant plus de 800 mm de pluies, comme la zone soudanienne, où l'engorgement des cuvettes et la lixiviation des bases sont favorisés. De là, et sur le plan pratique, on comprend que le positionnement du zaï dans le bassin versant ou sur la toposéquence est important.

### **Effet sur le ruissellement et l'érosion**

Un des intérêts majeurs du zaï réside dans la gestion du ruissellement (Roose *et al.*, 1993). Cette affirmation est corroborée par les résultats de quatre années d'expérimentation au Niger comparant l'efficacité du tassa à d'autres traitements (Bouzou Moussa et Dan Lamsou, 2004). Le coefficient de ruissellement est réduit à 2,7 % avec le tassa et à 7,3 % avec le paillage, alors qu'il est de 31,6 % avec le témoin. Quant à l'érosion, le tassa et le paillis ont eu la même efficacité, ils l'ont réduite d'un facteur de 10 relativement au témoin. Botoni et Rejj (2009) rapportent de nombreuses situations dans le Sahel où, à l'intérieur ou en aval des zones aménagées par les techniques de CES, les paysans font état d'un relèvement du niveau piézométrique de la nappe phréatique. Des études approfondies manquent cependant dans ce domaine.

### **Effet sur la culture et le rendement**

En améliorant les conditions de nutrition hydrique et minérale de la plante, le zaï permet d'accroître la production de biomasse et le rendement grain des céréales (Fatondji, 2002 ; Fatondji *et al.*, 2006). Cependant, toutes des études montrent que

le zaï seul ne suffit pas à relever notablement la production ; l'apport de ressources organiques est primordial et, la production du système augmente avec la qualité des ressources organiques apportées, le fumier arrivant en tête (Roose *et al.*, 1993 ; Kabore, 1994 ; Fatondji, 2002 ; Dan Lamso, 2002). Les engrais minéraux (phosphates, NPK, Urée) utilisés seuls ne relèvent pas drastiquement la production du zaï (Bouzou Moussa et Dan Lamso, 2004), leur efficacité est particulièrement réduite dans les sols acides avec toxicité aluminique et/ou à très faible capacité de rétention des éléments nutritifs. Zougmoré *et al.* (2003) arrivent aux mêmes résultats sur les demi-lunes, de dimensions plus grandes que le zaï. Ils concluent que la levée de la contrainte hydrique dans les sols ferrugineux tropicaux dévoile l'autre contrainte majeure de l'acidité et la déficience en nutriments des sols tropicaux.

Même en l'absence de termites, le zaï améliore la décomposition des ressources organiques et la libération des nutriments ; l'efficacité agronomique et celle de l'utilisation des nutriments sont meilleures sous le zaï comparativement au mode de culture traditionnel (Fatondji, 2002 ; Fatondji *et al.*, 2006 ; Fatondji *et al.*, 2009). Les auteurs relèvent cependant des problèmes de synchronisation entre la demande de la plante en nutriments et leur libération par décomposition de la matière organique. Ces problèmes sont liés à la qualité des ressources organiques : les ressources de bonne qualité (fumier) se décomposent rapidement, alors que le système racinaire de la plante n'est pas encore suffisamment développé pour les capter, il en résulte des pertes d'azote par drainage profond surtout en sol sableux. Les ressources organiques de moindre qualité (paille de céréales) immobilisent l'azote (Fatondji, 2002 ; Fatondji *et al.*, 2006).

### **Effet sur la biodiversité**

Sur les parcelles paysannes traitées en zaï, il y a souvent un retour rapide et important de la flore herbacée et ligneuse. Les cuvettes de zaï piègent en effet les graines transportées par le vent et l'eau et reçoivent les graines dans le fumier et le compost apportés par l'agriculteur. Les graines ayant transité par le tractus intestinal des animaux voient leur dormance levée par les acides gastriques et germent rapidement (Yélémo *et al.*, 2007b). Roose *et al.* (1993) ont observé que les tas de poudrette contiennent les graines d'une douzaine d'espèces légumineuses arbustives consommées par le bétail. Le *P. reticulatum*, espèce dont les animaux consomment les gousses fait souvent partie du cortège floristique que le zaï régénère.

## **Les arbustes locaux**

### ***P. reticulatum* et *G. senegalensis***

*P. reticulatum* est une Césalpiniacée, i. e. une légumineuse qui ne nodule pas, *G. senegalensis* est une Combrétacée. Les deux espèces sont généralement décrites comme des arbustes pérennes mais parfois, elles ont un port d'arbre pouvant atteindre

une dizaine de mètres de hauteur (Arbonnier, 2009). Leur aire géographique s'étend le long de la bande sahélienne, de l'Atlantique à la mer Rouge. *P. reticulatum* se développe dans les zones climatiques soudano-sahélienne et soudanienne, alors que *G. senegalensis* est plus commun dans la zone soudano-sahélienne. Les deux espèces croissent pendant la saison sèche et leur feuillage est persistant (Arbonnier 2009 ; Poilcot *et al.*, 2009). Elles sont grégaires et peuvent former des populations très denses, mixtes ou monospécifiques, aussi bien dans les jachères que dans les champs cultivés (Arbonnier, 2009 ; Poilcot *et al.*, 2009 ; Wezel et Boecker, 1998 ; Yélémo *et al.*, 2007a). *P. reticulatum* préfère les sols profonds, non compactés et humides, alors que *G. senegalensis* se contente des sols pauvres, sableux et cuirassés (Arbonnier, 2009 ; Hejzmanova-Nezřerková et Hejzman, 2006 ; Wezel et Boecker, 1998 ; Thiombiano *et al.*, 2006). Les deux espèces se multiplient par rejet de souches et résistent au feu de brousse ; *P. reticulatum* se multiplie facilement par semence (Yélémo *et al.*, 2007b), alors que pour *G. senegalensis*, Bationo *et al.* (2005) conseillent le marcottage.

Des études (Gustad *et al.*, 2004 ; Yélémo *et al.*, 2007a ; Wezel et Haigis, 2000) attestent qu'en Afrique de l'Ouest, les deux espèces sont connues des paysans qui, pour certains, les conservent volontairement dans leurs champs cultivés, mais ils ne les sèment pas ni ne les plantent. Ils peuvent, en revanche, les conserver quand elles apparaissent dans les champs cultivés, comme rapporté par Roose *et al.* (1993) dans les régions où le zaï est pratiqué. Les interactions des paysans avec les deux arbustes sont nombreuses et varient d'un site à un autre. Les usages les plus courants sont la médecine traditionnelle et le bois de cuisson. Elles font aussi l'objet de nombreux autres usages. *P. reticulatum*, en particulier, est fortement exploité : l'écorce est utilisée pour la fabrication de cordes et de teinture, le bois est utilisé dans la toiture des habitats et des silos à grains ou, pour clôturer les enclos. Il est utilisé dans de nombreuses fabrications artisanales : manches d'outils, paniers, pilons, mortiers, tabourets, cannes, ustensiles, masques, etc., qui peuvent être commercialisées. Par ailleurs, cette espèce en particulier a une valeur culturelle et culturelle (Arbonnier, 2009 ; Yélémo *et al.*, 2007a).

Les deux espèces interviennent peu dans l'alimentation humaine : en période de disette, les graines de *P. reticulatum* peuvent servir à la fabrication de condiments (Arbonnier, 2009). Les jeunes feuilles servent dans certaines localités à des préparations culinaires (Yélémo *et al.*, 2007a). Pour ce qui est de l'alimentation animale, les feuilles des deux espèces, riches en tanins, attirent peu le bétail sauf en fin de saison sèche, particulièrement pour *G. senegalensis*, quand il n'y a rien à manger (Wezel et Böcker, 1999). Les gousses de *P. reticulatum* sont en revanche bien appréciées du bétail ; localement, elles sont récoltées et stockées pour servir de fourrage durant la saison sèche (Zoundi *et al.*, 1996).

## Effet sur le sol

Les deux espèces affectent la fertilité du sol dans leur voisinage immédiat. Dans les sols ferrugineux sableux du sud-ouest du Niger, Wezel *et al.* (2000) ont réalisé des analyses à des intervalles réguliers de 50 cm sous *G. senegalensis*. Les résultats



montrent un accroissement centripète des concentrations de C, N, et P, démarrant à 250 cm du centre de la canopée. Des transects microtopographiques montrent une élévation du sol de 11 à 20 cm au pied des arbustes. Ils expliquent la microstructure par les phénomènes d'érosion-dépôt et l'appellent « îlot de fertilité ». L'extension de l'analyse à une centaine d'arbustes des deux espèces a confirmé l'enrichissement en C, N, P et K du sol sous la canopée comparativement au sol hors de la canopée. L'enrichissement est plus important sous *P. reticulatum* que sous *G. senegalensis*. Ils observent également que sous la canopée de *G. senegalensis*  $Ca^{2+}$  est réduit,  $H^+$  et  $Al^{3+}$  sont élevés et corrélativement le pH est abaissé, alors que sous la canopée de *P. reticulatum*,  $Ca^{2+}$  et le pH ne sont pas modifiés et la CEC effective est augmentée. Dans les sols ferrugineux sableux du Sénégal, Dossa *et al.* (2009) confirment la forte concentration de C, N et P dans les sols sous la canopée comparativement à ceux hors de la canopée, mais ici les fortes concentrations sont obtenues sous *G. senegalensis*. Les auteurs confirment également l'acidité du sol sous *G. senegalensis* comparativement à celui sous *P. reticulatum*, qu'ils attribuent à la chimie de la litière.

Ces investigations montrent bien que les deux arbustes affectent la fertilité du sol au sein des parcelles paysannes. Il reste à mieux comprendre la part de la fertilité qui leur est proprement due (litière, racines, etc.) de celle due aux matières qu'ils interceptent et concentrent à leurs pieds. De même, l'origine et les effets de l'acidité élevée du sol sous *G. senegalensis* méritent des investigations.

## Effet sur les cultures et les rendements

Louppe (1991) note que la productivité des cultures est toujours élevée à l'endroit des arbustes de *G. senegalensis* recépés. Partant de l'observation que les agriculteurs sèment le mil à une densité toujours plus élevée à l'endroit des arbustes, Wezel (2000) étudie l'effet du recépage/non-recépage sur la production, biomasse et grain, du mil sur un sol sableux du Niger. L'impact des arbustes sur la production du mil est significatif, les résultats montrent un accroissement centripète des rendements, grain et biomasse ; les valeurs les plus élevées sont obtenues à 120 cm du centre de l'arbuste. Au-delà d'un rayon de 200 cm, aucun effet de l'arbuste sur le rendement n'est observé. Le recépage total conduit à des rendements plus élevés que le recépage partiel ou l'absence de recépage. Les données obtenues par Dossa (2007) sur des sols sableux du bassin arachidier du Sénégal montrent également l'effet positif des deux espèces d'arbustes sur les rendements de l'arachide et du mil. Ces améliorations de rendements s'expliquent par la concentration des ressources minérales sous la canopée, mais également par la facilitation de l'alimentation hydrique que les deux espèces d'arbuste peuvent procurer à la culture associée du fait qu'elles réalisent la redistribution hydraulique (Kizito *et al.*, 2006, 2007). Cependant, dans certaines situations ou à certaines périodes de l'année une compétition pour l'eau peut se produire entre l'arbuste et la culture associée (Gaze *et al.*, 1998). Il s'agit là d'un aspect qui mérite plus d'investigation à l'avenir pour aider dans la recherche du meilleur compromis entre la population d'arbustes et les services recherchés pour la culture associée.

## Gestion paysanne des arbustes

En Afrique de l'Ouest, les méthodes utilisées par les paysans pour gérer les deux arbustes diffèrent d'un endroit à l'autre. Dans deux villages du bassin arachidier du Sénégal distants l'un de l'autre de 200 km, Louppe (1991), Diack (1998) et Diack *et al.* (2000) décrivent une gestion similaire de *G. senegalensis*. De mai à juin, avant le démarrage de la saison de pluies, les paysans préparent manuellement leurs champs pour installer le mil ou l'arachide. Toutes les touffes de *G. senegalensis* sont coupées au ras du sol et tout le bois est ramassé pour servir de bois de cuisson. Les feuilles restent sur place, en mulch ou rassemblées en tas et brûlées quand elles sont abondantes. Pendant la saison de pluies, les repousses sont coupées et laissées entre



Figure 1.

### Gestion paysanne des arbustes natifs *P. reticulatum* et *G. senegalensis* en Afrique subsaharienne.

Dans certaines localités de l'Afrique de l'Ouest, les paysans associent les arbustes natifs à leurs cultures annuelles (*G. senegalensis* au Niger et *P. reticulatum* au Burkina Faso).

L'arbuste est utilisé comme une plante relais.

La biomasse des arbustes est partagée entre différents usages compétitifs : la couverture du sol (2a et 2c : mulch de branches de *P. reticulatum*, 2c : dans une demi-lune ; 2b : mulch de branches de *G. senegalensis*), l'élevage (2d : feuilles de *G. senegalensis* au Niger) et le ménage (bois de cuisson). Les feuilles des deux arbustes sont de mauvaise qualité nutritive et peu attractives pour le bétail sauf quand il ne reste plus rien à manger. Les gousses de *P. reticulatum* sont de bonne qualité nutritive et appréciées par les animaux.

les rangs de la culture. Celles arrivant après le dernier désherbage sont épargnées, elles continuent leur croissance pendant la saison sèche et la touffe se reforme. Au sud-ouest du Niger, Wezel (2000) et Wezel *et al.* (2000) rapportent que les arbustes de *G. senegalensis* sont recépés de janvier à mars et lors du désherbage, en juillet/août. Ils ne précisent pas ce qui est fait de la biomasse coupée.

Dans deux villages séparés par plus de 1 000 km de distance, Guidan Bakoye au Niger (N 13°41' ; E 7°46') et Yilou au Burkina Faso (N 13°1' ; W 1°32'), nous avons observé que les paysans ne brûlent pas les feuilles des arbustes, mais les conservent comme mulch (fig. 1). À Guidan Bakoye, *G. senegalensis* est l'espèce dominante et la densité des touffes dans les parcelles cultivées est faible. De mars à juin (période sèche), les paysans recèpent toutes les touffes en conservant une à deux branches robustes sur certaines d'entre elles. Une partie des branches coupées est laissée sur place à l'endroit de la touffe, l'autre partie est ramenée au village et donnée en fourrage aérien à des petits ruminants parqués dans des enclos au voisinage des maisons. Lorsque les branches sont libérées des feuilles, elles sont ramassées pour servir de bois de feu. Au démarrage de la saison de pluies en juin/juillet, le mil est semé plus densément à l'endroit de la touffe et dans son voisinage immédiat. Durant la saison des pluies, les rejets sont coupés au moment du désherbage (deux désherbages en tout). À Yilou, *P. reticulatum* domine et sa densité dans les parcelles paysannes peut être élevée. D'avril à mai, voire juin, toutes les branches de toutes les touffes sont recépées et laissées sur place. Après les premières pluies, le sorgho est semé plus densément à l'endroit des touffes. Le ramassage du bois peut s'étaler jusqu'à la montée de la céréale. Les rejets sont coupés pendant les deux désherbages. Dans le nord du Burkina Faso, nous avons aussi observé que certains paysans utilisent les feuilles et branches de *P. reticulatum* sur le zaï et les demi-lunes.

## Discussion

Il y a une grande similitude entre le zaï et les arbustes natifs au regard des ressources hydriques, minérales et organiques qu'ils concentrent dans des « poches », pour le premier, ou dans des « flots », pour les seconds, et plus généralement au regard de la fertilité du sol. Les cuvettes de zaï sont préparées pendant la saison sèche, bien avant l'arrivée des pluies. Durant la période précédant l'installation des pluies, le zaï piège les matières organiques, y compris les graines, et minérales mises en mouvement par le vent. Les ressources organiques piégées provoquent l'activité des termites (fig. 2) qui créent une porosité facilitant l'infiltration de l'eau, ce qui expliquerait l'intérêt de la précocité de la préparation des cuvettes sous-entendu par le terme « zaï », comme expliqué plus haut.

Pendant la saison des pluies, les cuvettes interceptent et infiltrent les eaux de ruissellement et captent leur charge solide, ce qui atténue notablement l'érosion hydrique (fig. 3).



Figure 2.

*Durant la saison sèche, les cuvettes de zaï piègent les matières organiques, feuilles de ligneux, résidus des cultures, graines, etc., mises en mouvement par le vent (2a), ce qui provoque l'activité des termites (2b).*



Figure 3.

*Quand il est correctement appliqué, le zaï réduit considérablement le ruissellement et piège les matières transportées par l'eau.*

*(3a)- Cuvettes de zaï après une pluie, le bourrelet n'est pas totalement détruit, des résidus de culture et des branchages sont piégés, au fond de la cuvette se produit une sédimentation de particules fines qui peut réduire l'infiltration de pluies suivantes.*

*(3b)- Vue à la verticale d'une cuvette de zaï en saison sèche mettant en évidence la sédimentation de particules fines, le bourrelet a disparu.*

*À la saison suivante, l'agriculteur gratte le fond de la cuvette et reconstitue le bourrelet.*

Pendant la saison sèche, les arbustes interceptent et concentrent à leurs pieds les particules minérales et les débris organiques mis en mouvement par le vent et piègent les particules fines transportées par l'harmattan, d'où l'intérêt des touffes multitiges (fig. 4) auxquelles, bien souvent, est associée une activité notable des termites (fig. 5).





Figure 4

En plus de leur propre litière, les arbustes interceptent et accumulent à leurs pieds les matières organiques et minérales en mouvement, ce qui finit par former un relief convexe sous la canopée où le sol est très fertile, appelé flot de fertilité (4a).

Les touffes multitiges sont plus efficaces dans cette interception (4b), ici jeunes rejets.



Figure 5.

Bien souvent, l'activité biologique, termites surtout, est notable dans les flots de fertilité (5a).

Des termitières sont fréquemment associées aux touffes de *P. reticulatum* (5b).

En début de la saison humide, les arbustes s'opposent au ruissellement en interceptant les matières transportées (fig. 6), d'où l'intérêt d'un recépage tardif et/ou partiel des touffes. Cependant, un recépage tardif peut pénaliser la culture du fait de l'immobilisation de l'azote (Dossa *et al.*, 2009), car les ressources organiques issues des deux arbustes sont de moindre qualité, i. e. pauvres en azote et riches en lignine et tannins (Diack, 1998). Un recépage précoce réduirait le risque d'immobilisation de l'azote avec, corrélativement, une perte du bénéfice antiérosif des arbustes et de captures des poussières de l'harmattan.

Par ailleurs, les branches recépees peuvent être : i) déposées aléatoirement sur le sol avoisinant les endroits des touffes, formant ainsi un mulch lâche, discontinu, qui risque d'être déplacé en raison de vents violents qui précèdent les pluies ; ii) concentrées préférentiellement sur les parties les moins fertiles de la parcelle, en mulch continu, ou encore ; iii) agencées en un mulch continu très dense, amovible (fig. 7), qui est progressivement déplacé sur les emplacements de la parcelle où le



© Rabah Lalimer

Figure 6.

*Le port en multiges de *P. reticulatum* facilite le piégeage des tiges de céréales et autres débris organiques, faisant barrière au ruissellement et à la perte de ressources organiques de la parcelle.*



© Rabah Lalimer

Figure 7.

*Mulch amovible fait de branches de *P. reticulatum*. Les branches sont agencées de manière à constituer un mulch dense capable de résister au soulèvement par les vents violents qui précèdent les premières pluies. Il sera déplacé graduellement sur les parties dégradées de la parcelle (ici en arrière-plan) au fur et à mesure que l'activité des termites devient évidente.*



sol est dégradé au fur et à mesure que l'activité des termites devient évidente ou que des graines germent. Après le déplacement du mulch, les plantules ne survivraient pas à la sécheresse à cause des écarts entre les premières pluies (germination suicidaire ?).

Ces observations montrent à quel point la gestion des arbustes et du mulch dérivé est exigeante en savoir et en travail et que, tout comme le zaï qui est encore plus exigeant en travail, les arbustes sont bien adaptés aux stratégies paysannes d'allocation des ressources limitées et d'exploitation des services écologiques de la faune et de la flore. Par ailleurs, il n'est pas rare qu'au sein d'une même parcelle les paysans utilisent le zaï sur certaines parties et le mulch sur d'autres (fig. 8). Sur un autre plan, le zaï favorise la germination des graines de ligneux piégées ou apportées avec les amendements organiques et protège les jeunes pousses des dommages du vent et des animaux (Roose *et al.*, 1993). *P. reticulatum* et *G. senegalensis* sont souvent présents parmi les espèces ligneuses dominantes dans les zones où le zaï est appliqué et où les paysans ont choisi de les épargner (Yélémo *et al.*, 2007a ; Larwanou et Saadou, 2011), pratique appelée « régénération naturelle assistée » (Vohland et Barry, 2009).

Il semble clair que la synergie entre le zaï et les arbustes natifs, localement exploitée par les paysans, constitue une voie intéressante de récupération des sols et des agroécosystèmes dégradés et de l'accroissement de la productivité primaire préalable à une intensification écologique des systèmes de culture. Il reste néanmoins que le zaï est un système complexe (Roose *et al.*, 1993) encore peu exploré scientifiquement (Droux, 2008 ; Vohland et Barry, 2009). Son fonctionnement et ses impacts à moyen et long terme notamment pour ce qui concerne l'eau dans le sol et dans le bassin versant, l'accumulation de la fertilité dans le sol et, par suite, la rentabilité et la durabilité du système, au demeurant très exigeant en travail,



Figure 8.

Le mulch et le zaï sont bien adaptés aux stratégies paysannes d'allocation des ressources limitées et d'exploitation des services écologiques de la faune et de la flore.

Il arrive que les deux techniques soient utilisées côte à côte sur une même parcelle.

(8a)- Zaï en avant-plan et mulch de *P. reticulatum* autour d'une termitière, le paysan y sèmera directement le sorgho à la daba.

(8b)- Mulch amovible en avant-plan ; en arrière-plan, réalisation en cours d'un nouveau zaï entre deux parties du champ où le zaï est ancien.

De cette manière, un champ dégradé est graduellement restauré.

restent peu investigués. De nombreuses recherches ont été consacrées aux arbustes, des années 1990 à 2000, sur les sols sableux du Niger et du Sénégal (Lahmar *et al.*, 2011), elles ont montré un effet positif des arbustes sur le sol et sur les cultures associées dans des systèmes à base de labour. Les interactions entre les arbustes et les cultures associées méritent néanmoins de plus amples investigations dans les conditions biophysiques et socioéconomiques contrastées de la petite agriculture sans intrants de l'Afrique subsaharienne. En particulier, une meilleure compréhension des processus écologiques mis en jeu dans ces interactions peut permettre la recherche de meilleurs compromis pour améliorer la rentabilité et la durabilité des systèmes intégrant les arbustes et des ressources qui les supportent.

## Conclusion

Il y a suffisamment d'évidences empiriques soutenues, pour certaines, par des résultats scientifiques qui attestent de l'intérêt et de l'adaptation du zaï et des arbustes natifs aux petites agricultures pluviales des agroécosystèmes arides et semi-arides subsahariens faiblement dotés en ressources. Pour produire sur des terres, autrement improductives, et les aggrader, les paysans exploitent des services que le zaï et les arbustes procurent, comme celui de concentrer les ressources hydriques, minérales et organiques ou encore les médiations qu'ils facilitent, comme l'activité biologique dont dépendent le recyclage des éléments nutritifs et l'entretien de la MOS. Ces services et médiations, les mécanismes et processus qu'ils engagent méritent d'être mieux connus. Le zaï permet de restaurer rapidement les propriétés hydrophysiques du sol, mais la production agricole n'y est notablement améliorée qu'en présence de ressources organiques. Par ailleurs, on a peu d'idées sur le potentiel du zaï dans la construction et le maintien de la fertilité du sol sur le long terme. La combinaison du zaï et des arbustes peut s'avérer une approche intéressante pour la restauration de la fertilité du sol et l'accroissement de la productivité primaire des terres. L'intégration des arbustes aux cultures comme des plantes relais gérées annuellement par recépage peut ouvrir la voie à une intensification écologique des agricultures paysannes en Afrique subsaharienne. Un investissement en recherche sur les systèmes actuels associant arbustes natifs et cultures annuelles pratiqués dans certaines localités en Afrique subsaharienne semble nécessaire.

## Références

Arbonnier M., 2009 - Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 3<sup>e</sup> ed. Versailles, QUAE, 572 p.

Barro, A., Zougmore R. et Taonda S.J.B., 2005 - Mécanisation de la technique du zaï manuel en zone semi-aride. Cahiers Agricultures, 14 : 549-559.



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Barry B., Olaleye A.O., Zougmore R. and Fatondji D., 2008 - Rainwater harvesting technologies in the Sahelian zone of West Africa and the potential for outscaling. IWMI Working paper 126, 32 p.
- Bationa A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., 2007 - Soil organic carbon dynamics, functions and management in west African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 94 : 13-25.
- Bationo B-A., Karim S., Bellefontaine R., Saadou M., Guinko S., Ichaou A., Bouhari A., 2005 - Le marcottage terrestre : technique économique pour la régénération de certains ligneux tropicaux. *Sécheresse*, 16 : 309-311.
- Baudron F., Corbeels M., Monicat F., Giller K.E., 2009 - Cotton expansion and biodiversity loss in African savannahs, opportunities and challenges for conservation agriculture: a review paper based on two case studies. *Biodivers Conserv.*, 18 : 2625 – 2644.
- Bindraban, P.-S., Löffler, H. and Rabbinge, R. 2008 - How to close the ever widening gap of Africa's agriculture. *Int. J. Technology and Globalisation*. 4 : 276-295.
- Botoni E., Reij C. 2009 - La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel : Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles. *CIS-VUA/CILSS*, 61 p.
- Bouzou-Moussa I., Dan Lamso N., 2004 - Le « tassa » : une technique de conservation des eaux et des sols bien adaptée aux conditions physiques et socio-économiques des glaciés des régions semiarides (Niger). *Revue de géographie alpine*, 92 : 61-70.
- Clavel D., Barro A., Belay T., Lahmar R, Maraux F., 2008 - Changements techniques et dynamique d'innovation agricole en Afrique sahélienne : le cas du Zaï mécanisé au Burkina Faso et de l'introduction d'une cactée en Ethiopie. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, 8 : 1-10.
- Cobo J.G., Dercon G., Cadisch G., 2010 - Nutrient balances in African land use systems across different spatial scales: A review of approaches, challenges and progress. *Agric. Ecosyst. Environ.* 136 : 1–15
- Dan Lamso N., 2002 - Valorisation des eaux de ruissellement en zones arides et semiarides méditerranéennes et sahéliennes par les techniques traditionnelles d'aménagement des sols. Thèse 3e cycle : Université Abdou Moumouni de Niamey et Université de Tunis II. 278 p.
- Diack M., 1998 - *P. reticulatum* dans un parc de *Cordyla pinnata* : effet sur la régénération des sols dégradés au Sénégal. *Memoire de titularisation*. ISRA CRA de Kaolack. 48 p.
- Diack M., Sene M., Badiane A.N., Diatta M., Dick R.P., 2000 - Decomposition of a native shrub, *P. reticulatum*, litter in soils of semi-arid Senegal. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 14 : 205-218.
- Dossa E.L., 2007 - The biochemistry of nitrogen and phosphorus cycling in native shrubs ecosystems in Senegal. Ph.D. dissertation. Oregon State University, Corvallis. 130 p.
- Dossa E.L., Khourma M., Diedhiou I., Sene M., Kizito F., Badiane A.N., Samba S.A.N., Dick R.P. 2009 - Carbon, Nitrogen and phosphorus mineralization potential of semi-arid Sahelian soils amended with native shrub residues. *Geoderma*, 148 : 251-260.
- Droux D., 2008 - Réhabilitation des sols dégradés des zones sèches sahéliennes avec la technique du zaï. *Etat des connaissances, perception et pratiques paysannes dans le nord du Burkina Faso*. *Mém. Matser II. Univ Paris XII Val-de-Marne*. 63 p.
- Fatondji D., 2002 - Organic amendment decomposition, nutrient release and nutrient uptake by millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br) in a traditional land rehabilitation technique (zaï) in the Sahel. PhD thesis, University of Bonn, Germany. 140 p.

- Fatondji D., Martius C., Biolders C.L., Vlek P.L.G., Bationo A. et Gerard B., 2006 - Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76 : 203–217.
- Fatondji D., Martius C., Zougmore R., Vlek P. L. G., Biolders C. L., Koala S., 2009 - Decomposition of organic amendment and nutrient release under the zai technique in the Sahel. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 85 : 225–239.
- Feller, C., Beare, M.H., 1997- Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79 : 69–116.
- Garrity, D.P., Akinnifesi, F.K., Ajayi, O.C., Weldesemayat, S.G., Mowo, J.G., Kalinganire, A., Larwanou, M., Bayala, J., 2010 - Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Secur.*, 2 : 197–214.
- Gaze S.R., Brouwer J., Simmonds L.P., and Bromley J., 1998 - Dry season water use patterns under *G. senegalensis* L. shrubs in a tropical savanna. *Journal of Arid Environments.*, 40 : 53-67.
- Giller, K.E., Witter, E., Corbeels, M., Tittonell, P., 2009 - Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field Crop Res.*, 114 : 23–24.
- Giller, K.E., Corbeels, M., Dercon, G., Jenrich, M., Nyamangara, J., Triomphe, B., Affholder, F., Scopel, E., Tittonell, P., 2011 - A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems. *Field Crop Res.*, 124 : 468–472.
- Gustad G., Dhillon S.S., Sidibé D., 2004 - Local uses and cultural and economic value of products from trees in the parklands of the municipality of Cinzana, Mali. *Economic Botany*, 58 : 578-587.
- Hejzmanová-Nežerková P., Hejzman M., 2006 - A canonical correspondence analysis (CCA) of the vegetation–environment relationships in Sudanese savannah, Senegal. *South African Journal of Botany*, 72 : 256 – 262.
- Kabore V.S., 1994 - Amélioration de la production végétale des sols dégradés (zipella) du Burkina Faso par la technique des poquets (zai). Thèses de doctorat : Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. 194 p.
- Kidane W., Maetz M., Dardel P., 2006 - Sécurité alimentaire et développement agricole en Afrique subsaharienne. Dossier pour l'accroissement des soutiens publics. Rapport principal. Rome, FAO, 108 p.
- Kintché, K., Guibert, H., Sogbedji, J.M., Levêque, J., Tittonell, P., 2010 - Carbon losses and primary productivity decline in savannah soils under cotton–cereal rotations in semiarid Togo. *Plant Soil*, 336 : 469–484.
- Kizito F., Draglia M., Sene M., Lafufa A., Diedhiou I., Dick R.P., Selker J.S., Diack M., Dossa E., Khouma M., Badiane A.N., Ndiaye S., 2006 - Seasonal soil water variation and root patters between two semi-arid shrubs co-existing with pearl millet in Senegal, West Africa. *Journ. Arid Environ.*, 67, 436-455.
- Kizito F., Sene M., Draglia M., Lafufa A., Diedhiou I., Dossa E., Cuenca R., Selker J.S., Dick R.P., 2007 - Soil water balance of annual crop-native shrub systems in Senegal's Peannut Basin : the missing link. *Agric. water manage.*, 90 : 137-148.
- Lahmar, R., Bationo, B.A., Dan Lamso, N., Guéro, Y., Tittonell, P., 2011- Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: building on traditional local practices for soil restoration. *Field Crop Res.*, doi:10.1016/j.fcr.2011.09.013.
- Lal, R., 1989 - Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. *Adv. Agron.*, 42 : 85–197.
- Lal, R., 2008 - Soils and sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 28 : 57– 64.
- Larwanou, M., Saadou, M., 2011 - The role of human interventions in tree dynamics and environmental rehabilitation in the Sahel zone of Niger. *Journ. Arid Environ.*, 75 : 94–2000.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Loupe D., 1991 -  
*G. senegalensis* : espèce agroforestière ?  
Micro-jachère dérobée de saison sèche et approvisionnement énergétique d'un village du centre nord du Bassin Arachidier sénégalais.  
*Revue Bois et Forêts des tropiques*, 228 : 41-47.
- Mando A., Stroosnijder L., Brussaard L., 1996 -  
Effect of termites on infiltration into crusted soil.  
*Geoderma*, 74 : 107-113.
- Mando A., 1997 -  
The impact of termites and mulch on the water balance of crusted Sahelian soils.  
*Soil Technol.*, 11 : 121-138.
- Mando A., Miedema R., 1997 -  
Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in Sahel.  
*Applied Soil Ecology*, 6 : 241-249.
- Mando A., Brussaard L., Stroosnijder L., 1999 -  
Termite- and mulch-mediated rehabilitation on crusted soil in West Africa.  
*Restoration Ecology*, 7 : 1, 33-41.
- Mando A., Fatondji., Zougmore R., Brussaard L., Biellers C.L., and Martius C., 2006 -  
Restoring Soil Fertility in Semi-Arid West Africa. *In Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. Edited by Norman Uphoff. CRC Press, pp 391-399.  
DOI: 10.1201/9781420017113.ch26
- Manlay R.J., Feller C., Swift M.J., 2007-  
Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems.  
*Agr. Ecosys. Environ.*, 119 : 217-233.
- Ouédraogo, E., Mando, A., Brussaard, L., 2004 -  
Soil macrofauna-mediated organic resources disappearance in semi-arid West Africa.  
*Appl. Soil Ecol.*, 27 : 259-267.
- Pieri, C., 1989 -  
Fertilité des terres de savane.  
Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara.  
Montpellier, Ministère de coopération et du Développement et CIRAD. 444 p.
- Poicot P., Saidi S., N'gakoutou E.B., 2009 -  
Phytogéographie du Parc national de Zakouma (Sud-Est du Tchad).  
*Sécheresse*, 20 : 286-295.
- Roose, E., Kabore, V. et Guenat C. 1993 -  
Le zai. Fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso).  
*Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, XXVII : 159-173.
- Schlecht, E., Buerkert, A., Tielkes, E., Bationo, A., 2006 -  
A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa.  
*Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 76, 109-136.
- Thiombiano A., Schmidt M., Kreft H., Guinko S., 2006 -  
Influence du gradient climatique sur la distribution des espèces de Combretaceae au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest).  
*Candollea*, 61 : 189-213.
- Tittonell P., Scopel E., Andrieu N., Posthumus H., Mafumo P., Corbeels M., van Halsema G.E., Lahmar R., Lugandu S., Rakotoarisoa J., Mtambanengwe F., Pound B., Chikowo R., Naudin K., Triomphe B., Mkomwa S., 2012 -  
Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa.  
*Field Crops Res.*,  
doi:10.1016/j.fcr.2011.12.011
- Vanlauwe B., Giller K.E., 2006 -  
Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa.  
*Agric. Ecosyst. Environ.*, 116 : 34-46.
- Vermeulen S., Zougmore R., Wollenberg E., Thornton P., Nelson G., Kristjanson P., Kinyangi J., Jarvis A., Hansen J., Challinor A., Campbell B. and Aggarwal P., 2012-  
Climate change, agriculture and food security: a global partnership to link research and action for low-income agricultural producers and consumers. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*,  
doi : 10.1016/j.cosust.2011.12.004.
- Vohland, K., Barry, B., 2009 -  
A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands.  
*Agric. Ecosyst. Environ.*, 131 : 119-127.

- Wezel A., 2000 -  
Scattered shrubs in pearl millet fields  
in semiarid Niger: Effect on millet production.  
Agroforestry Systems, 48 : 219-228.
- Wezel A., et Boecker R., 1998 -  
Fallow plant communities and site characteristics  
in semi-arid Niger, West Africa.,  
Journ. Arid Environ., 40 : 269-280.
- Wezel A., Böcker R., 1999 -  
Mulching with branches  
of an indigenous shrub (*G. senegalensis*)  
and yield of millet in semi-arid Niger.  
Soil Till. Res., 50 : 341-344.
- Wezel A., Haigis J., 2000 -  
Farmers' perception of vegetation changes  
in semi-arid Niger.  
Land Degrad. Develop., 11 : 523 - 534.
- Wezel A., Rajot- J.L.,  
et Herbrig C., 2000 -  
Influence of shrubs on soil  
characteristics and their function  
in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger.  
Journ. Arid Environ., 44 : 383-398
- Yélémou B., Bationo B-A. Yaméogo G.,  
Millogo-Rasolodimby J., 2007a -  
Gestion traditionnelle et usages de *P. reticulatum*  
sur le Plateau central du Burkina Faso.  
Bois et Forêts des tropiques, 291 : 55-66.
- Yélémou B., Yaméogo G.,  
Millogo-Rasolodimby J., Hien V., 2007b -  
Germination sexuée  
et dynamique de développement  
de *P. reticulatum* (D.C.) Hochst,  
une espèce agroforestière du Burkina Faso.  
Sécheresse, 18 : 185-192.
- Zougmoré R., Zida Z., Kambou N.F., 2003 -  
Role of nutrient amendments in the success  
of half-moon soil and water conservation  
practice in semiarid Burkina Faso.  
Soil Till. Res., 71 : 143 - 149.
- Zoundi S.J., Nianogo A.J., Sawadogo L., 1996 -  
Utilisation de gousses de *P. reticulatum* (D.C.)  
Hochst. et de feuilles de *Cajanus Cajan* (L.)  
Mills. en combinaison avec l'urée  
pour l'engraisement de moutons Djallonké  
type mossi et du sud au Burkina.  
Tropicultura, 14 : 149- 152.



# Programme de la Grande Muraille Verte : défis, stratégies et attentes des acteurs du Togo

*KOUAMI KOKOU*

Écologie forestière et gestion des ressources naturelles  
Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences,  
Université de Lomé, Togo, BP 1515, Tél. : (228) 22 25 50 94, Fax : (+228) 22 21 85 95  
Auteur correspondant : email: kokoukouami@hotmail.com,  
Tél. : (228) 90 02 04 11

*KOSSI ADJONOU*

Écologie forestière  
Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences,  
Université de Lomé, Togo, BP 1515, Tél. : (228) 22 25 50 94, Fax : (+228) 22 21 85 95

*ADZO DZIFA KOKUTSE*

Anatomie végétale et technologie du bois  
Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences,  
Université de Lomé, Togo, BP 1515, Tél. : (228) 22 25 50 94, Fax : (+228) 22 21 85 95

*ABOUDOU RAOUFOU RADJI*

Horticulture ornementale et écologie urbaine  
Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences,  
Université de Lomé, Togo, BP 1515, Tél. : (228) 22 25 50 94, Fax : (+228) 22 21 85 95

*OYÉTOUNDE DJIWA*

Agronomie-foresterie  
Direction de la Planification, Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières,  
01 BP : 4825, Lomé (Togo), Tél. : (228) 22 21 28 97, Fax : (228) 22 21 03 33

*TADANLENGA YATOMBO*

Développement rural, aménagement-environnement  
ONG RAFIA (Recherche, Appui, Formation aux Initiatives d'Auto-Développement),  
BP : 43 Dapaong (Togo), Tél. : (228) 27 70 84 56/ 90 02 04 68, Fax : (228) 27 70 82 37

## Résumé

L'Initiative africaine Grande Muraille Verte (IMGV) consiste à entreprendre l'édification d'un mur de verdure du Sénégal à Djibouti pour freiner le désert, afin de contribuer efficacement au développement intégré des zones rurales traversées et aux actions de lutte contre la pauvreté dans le cadre d'un développement durable.

Au Togo, la mise en œuvre de l'IGMV se justifie par la pauvreté des populations locales, les effets négatifs des changements climatiques, et les scénarios de prévisions futures du climat qui montrent une alternance de périodes sèches et de périodes très pluvieuses, surtout au nord du pays. Plusieurs partenaires financiers et techniques notamment la Banque mondiale, le FEM, TerrAfrica, l'Union africaine, les organes de la CNULD, l'UE, l'IDA, etc. apportent leur appui à l'IGMV aux plans régional, national et local. Pour ce faire, l'État togolais a mis au point de nombreuses stratégies en matière de gestion de l'environnement, de lutte contre la désertification et de gestion durable des terres (GDT), de lutte contre les changements climatiques, de conservation et d'utilisation durables de la biodiversité, par le biais du projet de gestion intégré des catastrophes et des terres financé par le FEM-5, la Facilité mondiale pour la réduction de risque de catastrophe et la relance (GFDRR) ouverte aux pays de l'Afrique de l'Ouest et du Sahel et les fonds TerrAfrica. Par ailleurs, l'administration forestière, les associations et les ONG mènent des actions dans la région septentrionale dans le cadre d'autres programmes, notamment le programme « Commune du Millénaire » financé par le PNUD, les programmes de Développement communautaire financés par la Banque mondiale, le projet « Bois-École » financé par le PNUD, le projet « Évolution des systèmes d'aire protégée vis-à-vis du changement climatique en Afrique de l'Ouest-Parcc-Afrique de l'Ouest », le « projet de renforcement du rôle de conservation du système national des aires protégées »...

#### Mots clés

TOGO, CHANGEMENTS CLIMATIQUES, GESTION DES TERRES,  
GRANDE MURAILLEVERTE

## Introduction

La désertification affecte les conditions de vie de plus de 2 milliards d'individus sur la planète. Le continent le plus durement touché reste l'Afrique subsaharienne où la pauvreté et l'insécurité alimentaire sont les plus répandues, la capacité de parade aux catastrophes réduite et les moyens d'adaptation au phénomène très faibles (Sokona, 2007). Ce constat va s'aggraver au cours des décennies à venir, car la tendance générale à l'accroissement du risque climatique et à la baisse des capacités des milieux naturels et sociaux indique une hausse des vulnérabilités écologiques et sociales (GTZ, 2007).

La lutte contre la désertification, les changements climatiques et la conservation des ressources naturelles et la diversité biologique dans les milieux arides et subarides constituent une des priorités majeures des États sahélo-sahariens. De ce fait, diverses politiques et stratégies opérationnelles nationales à différentes échelles institutionnelles, traduites en programmes multisectoriels ainsi que des recherches

thématiques de caractérisation, de prévention, de lutte et de restauration ont été menées au cours des cinq dernières décennies. Ces actions déroulées dans des zones éco-géographiques et phytogéographiques à caractéristiques variées ont permis de bâtir une masse importante d'expériences, de pratiques et de données scientifiques et techniques pertinentes. À ceci s'ajoute un important savoir traditionnel, endogène qui a permis aux populations locales de développer à travers des décennies une forme de résilience face aux perturbations environnementales (Gagnol, 2011).

L'Initiative africaine Grande Muraille Verte « IGMV », née lors du 7<sup>e</sup> sommet des leaders et chefs d'État de la Communauté des États sahélo-sahariens (CEN-SAD) tenu les 1<sup>er</sup> et 2 juin 2005 à Ouagadougou (Burkina Faso), marque l'engagement et concrétise l'approche stratégique des États sahéliens fortement assujettis aux effets de désertification et de changements climatiques. Cette initiative consiste à entreprendre l'édification d'un mur de verdure du Sénégal à Djibouti pour freiner le désert. Sa particularité est de contribuer efficacement au développement intégré des zones rurales traversées et aux actions de lutte contre la pauvreté dans le cadre d'un développement durable. Le programme GMV intègre ainsi dans sa stratégie et ses objectifs les préoccupations des conventions des Nations unies sur la désertification, les changements climatiques et la biodiversité (CEN-SAD, 2008).

Les variations dans les contextes biophysiques, pédologiques et culturels imposent un développement global par la prise en compte et l'intégration des spécificités locales. Ainsi, les pays potentiels impliqués dans l'IGMV développent leurs propres stratégies. Le Togo ne fait pas partie des 12 pays sahéliens, initialement membres de l'Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte. Mais la Banque mondiale, en collaboration avec le FEM vient d'initier un programme autour de la Grande Muraille Verte et du lac Tchad qui intègre le Togo, le Bénin et le Ghana qui sont des pays côtiers et donc ne font pas partie des pays traditionnels de l'IGMV. C'est à ce titre qu'au Togo, plusieurs programmes et projets prennent forme. Parmi ces programmes, le projet de gestion intégrée des catastrophes et des terres, financé en partie grâce aux fonds de la 5<sup>e</sup> reconstitution du Fonds pour l'environnement mondial (FEM-5) au cours de la période 2010-2014 s'inscrit dans les trois domaines focaux (dégradation des terres, changements climatiques et biodiversité). Au cours de l'exercice d'élaboration des axes prioritaires nationaux à soumettre au FEM-5, le programme GMV est apparu comme une priorité nationale et transversale exprimée par les acteurs (ministère de l'Environnement et des Ressources forestières « MERF », 2011a).

L'objectif du présent article est de faire une synthèse des actions, expériences, techniques en cours et autres données pertinentes issues de la recherche scientifique, des pratiques et des savoirs traditionnels acquis dans les différents domaines afin d'optimiser les stratégies et performances de la mise en œuvre de l'IGMV au Togo. Spécifiquement, il s'agit de faire l'état des lieux sur sa mise en œuvre en décrivant (i) les stratégies opérationnelles et (ii) les actions techniques et scientifiques actuellement en cours susceptibles de guider les actions retenues pour l'IGMV au Togo.



## Vulnérabilité du Togo face aux changements climatiques et nécessité de l'IGMV

Situé sur la côte du golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest, le Togo couvre une superficie de 56 600 km<sup>2</sup>. Il est limité au sud par l'océan Atlantique, au nord par le Burkina Faso, à l'est par le Bénin et à l'ouest par le Ghana. Localisé entre 6° et 11° de latitude nord et entre 0° et 2° de longitude est, le pays s'étend du nord au sud sur 660 km. Sa largeur varie entre 50 et 150 km. Le pays est divisé en cinq régions administratives et économiques qui ne jouissent pas en réalité d'une autonomie régionale par manque de mise en place effective de structures administratives et financières appropriées. Les cinq régions sont : la région Maritime (6 100 km<sup>2</sup>), la région des Plateaux (16 975 km<sup>2</sup>), la région Centrale (13 317 km<sup>2</sup>), la région de la Kara (11 738 km<sup>2</sup>), la région des Savanes (8 470 km<sup>2</sup>) (fig. 1A). Le pays compte actuellement trente-cinq préfectures et une sous-préfecture.

Sur le plan agro-climatique, le Togo est subdivisé en deux zones à partir du 8° parallèle. Au sud (zone agro-climatique guinéenne), le climat est de type inter-tropical ou guinéen caractérisé par deux saisons pluvieuses (d'avril à juillet et de septembre à octobre) séparées par deux saisons sèches (fig. 1B). Au nord (zone agro-climatique soudanienne), le climat est de type tropical soudanien, caractérisé

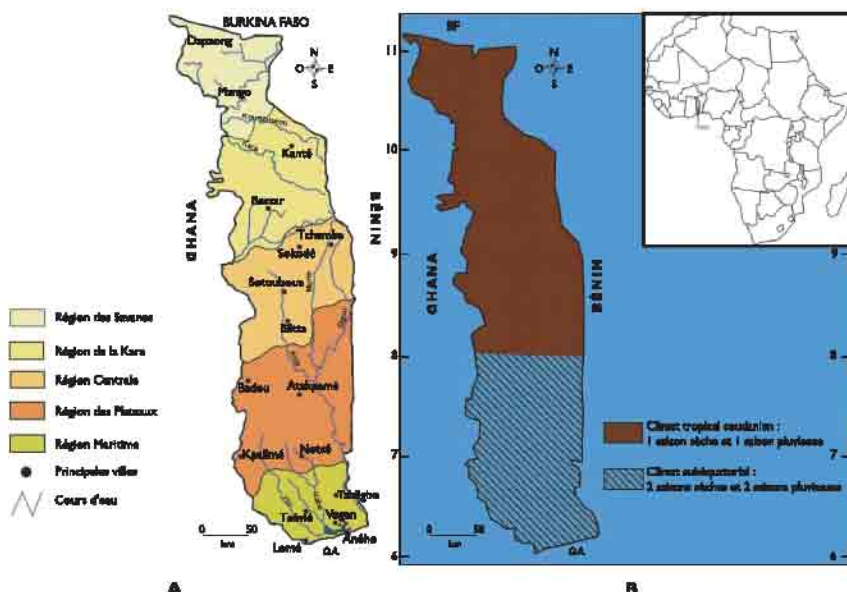


Figure 1. Découpages administratif (A) et agro-climatique (B) du Togo.

par une saison sèche durant laquelle souffle l'harmattan et une saison pluvieuse dont la durée diminue du sud au nord. La pluviométrie varie de 882 mm à 1 328 mm dans les régions méridionales et de 1 000 mm à 1 302 mm dans les régions septentrionales. Quant à la température, elle varie de 26,4 °C à 27,4 °C dans les régions méridionales et de 26,4 °C à 28,3 °C dans les régions septentrionales. L'humidité relative moyenne est élevée dans les zones méridionales (73 à 78,5 %), mais faible dans les régions septentrionales (56 à 67 %). L'évapotranspiration moyenne est de 1 540 mm/an.

Les changements climatiques qui se manifestent actuellement au Togo se traduisent par la variation des paramètres caractéristiques du climat : la température, les précipitations, le nombre de jours de pluie, l'humidité relative, l'évapotranspiration, l'insolation et les vents. Ainsi, au regard du profil effilé du territoire du nord au sud, la température et les précipitations varient (Agbossou, 2009) :

– en fonction des régions administratives, une variation sensible des régions méridionales (Maritime, Plateaux) vers les régions centrale et septentrionale (Kara, Savanes). Dans les régions méridionales, il y a une évolution des tendances pluviométriques de Lomé vers le nord ;

– en fonction de la latitude, un découpage du climat en trois principales zones : la première s'étend de la côte à 8° de latitude nord, caractérisée par une température de faible amplitude et une pluviométrie d'environ 1 200 mm avec une croissance des végétaux de moins de 240 jours ; la deuxième zone climatique est située entre 8° et 10° de latitude nord avec des amplitudes thermiques journalières élevées, des moyennes pluviométriques élevées dans le centre (1 400 mm) et qui diminuent en allant vers le sud et le nord (1 000 mm). La durée de croissance des végétaux est de l'ordre de 200 jours dans l'année ; la troisième zone située entre 10° et 11° de latitude nord a une pluviométrie d'environ 1 000 mm, des amplitudes thermiques fortes et une durée de croissance des végétaux inférieure à 175 jours.

Dans le cadre des études du Pana (MERF, 2008), les données météorologiques ont permis de mettre en exergue une diminution de la pluviométrie et une augmentation de la température. En fonction de la latitude, les variations relevées sont de 0,9 °C à Lomé, 1,1 °C à Atakpamé, 0,5 °C à Sokodé et 1,1 °C à Mango. Quant aux précipitations, elles diminuent du sud vers le nord de 113,9 mm à Lomé, 36,7 mm à Atakpamé, 80,3 mm à Sokodé, sauf à Mango où elles augmentent de 07,5 mm. Mais les scénarios de prévisions futures de changements climatiques (Wigley *et al.*, 1990 ; IPCC, 2001 ; Agbossou, 2009) ont montré qu'entre 6° (~ Lomé) et 10° (~ Kanté) de latitude nord, les précipitations subiraient une diminution allant jusqu'à 1,4 % en 2025 et 3 % à l'horizon 2050. De 10° à 11° de latitude nord (région des Savanes), elles subiront un accroissement pouvant atteindre 0,8 % en 2025 et 2 % en 2050. Il s'ensuivrait une alternance de périodes sèches et de périodes très pluvieuses surtout au nord du pays. Il s'agit essentiellement des sécheresses extrêmes et prolongées et des inondations dans le cas de fortes précipitations. L'analyse des isohyètes aux horizons 2025 et 2050 révèle une tendance à un découpage du territoire autour de la ville de Kanté (fig. 2). Autour de cette ville, les projections montrent que la pluviométrie devrait rester quasi stationnaire. Ainsi, l'impact de la variation des précipitations et des températures sur les différents secteurs d'activités signifie que la mise en œuvre du programme GMV au Togo ne sera pas pareille dans les deux

zones à effets contrastés en termes de variations pluviométriques, notamment Lomé-Kanté et Kanté-Cinkassé (fig. 2).

Toutefois, des interventions spécifiques comprenant, entre autres, la restauration des terres et la séquestration du carbone, le soutien à la gestion des terres pour les communautés rurales, la mise en place de bonnes pratiques de gestion durable des terres (GDT) par zone agro-écologique, la restauration de sites pilotes dans les zones dégradées, la restauration des pentes de montagne sont des actions à répliquer sur divers endroits du territoire.

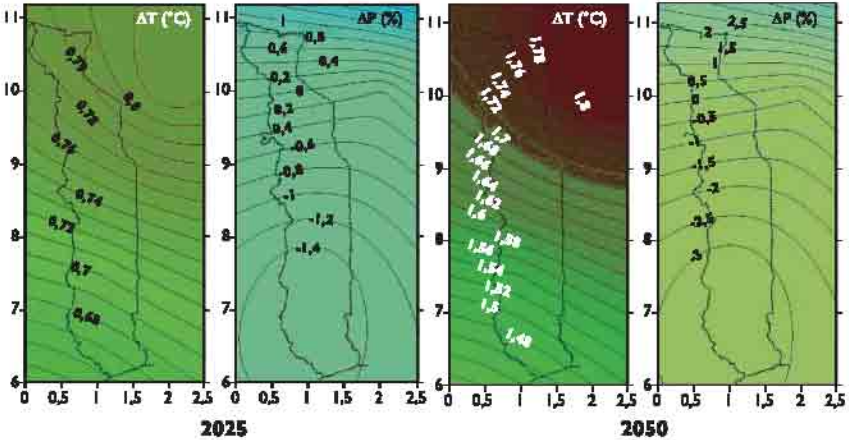


Figure 2. Température et isohyètes aux horizons 2025 et 2050 (Agbossou, 2009).

## État des lieux

### Mise à l'échelle de l'IGMV au Togo

L'IGMV au Togo s'inscrit dans le programme Sahel et Afrique de l'Ouest approuvé par les conseils du FEM et du Fonds des pays les moins avancés/Fonds spécial pour les changements climatiques (LDCF/SCCF). Le programme traite des problèmes majeurs liés à la dégradation des terres, y compris la sécurité alimentaire, l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques, en vue de soutenir le développement durable dans les pays concernés (fig. 3). Historiquement, ces pays ont connu, entièrement ou partiellement, une forte variabilité des précipitations, et cela devrait s'accroître, affectant la capacité de leurs ressources en terres et en eau déjà entamées, à fournir en continu des intrants aux écosystèmes agricoles, nécessaires à la lutte contre la pauvreté, à la croissance économique, ainsi que les biens écologiques publics régionaux et mondiaux tels que l'accumulation de carbone dans le sol et dans la biomasse, la recharge des eaux souterraines, etc.



Figure 3.

Pays concernés par l'Initiative de la Grande Muraille Verte (IGMV).

Dans les pays concernés, les principales stratégies de subsistance comprennent l'agriculture, l'élevage de bétail, la pêche, le commerce, ainsi qu'une variété d'occupations urbaines. La variabilité des précipitations, la dégradation des terres (déforestation, monoculture et surpâturage) et la désertification sont quelques-uns des facteurs qui se combinent pour en faire des pays appartenant à ces zones les plus pauvres et les plus dégradées sur le plan écologique dans le monde (Kandji *et al.*, 2006). L'état des ressources dans cette zone n'a cessé de se dégrader en raison de l'expansion des établissements humains et de l'augmentation de la demande alimentaire et de bois de chauffage. Les sécheresses fréquentes accompagnées d'une exploitation anarchique, non durable et mal gérée des terres et des eaux – de surface et souterraines – ont, avec la variabilité naturelle, causé le tarissement des fleuves et lacs nationaux et transfrontaliers, tandis que l'érosion éolienne a enlevé de précieuses couches arables.

Ces difficultés sont en passe de devenir plus chroniques avec les changements climatiques. Les températures plus élevées et plus variables peuvent conduire à une

désertification plus large et plus rapide, des sécheresses et des inondations plus fréquentes, des changements dans la configuration des terres humides saisonnières, un stress de chaleur plus élevé sur le bétail, des changements dans la longueur et la durée de la saison culturale, ainsi que dans la qualité des récoltes et des rendements. Les changements climatiques augmentent généralement les risques de catastrophe, non seulement par une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes et l'élévation du niveau de la mer, mais aussi par l'augmentation des vulnérabilités de la société aux dangers résultant des problèmes de la disponibilité de l'eau, de l'agriculture et des écosystèmes en état de dégradation.

Les conditions mentionnées ci-dessus sont liées à celles de la savane et des zones humides de l'Afrique de l'Ouest. La dégradation des terres, la variabilité climatique, ainsi que l'érosion des sols demeurent des menaces importantes qui mettent en péril les moyens de subsistance, les écosystèmes, les infrastructures et les peuplements. En outre, les échanges et les conflits sur l'utilisation des ressources naturelles sont constants. Par exemple, les conflits entre éleveurs semi-nomades traditionnels et agriculteurs sédentaires autour du Sahel et de la savane sont courants, car les troupeaux se déplacent plus au sud où les systèmes agro-pastoraux se développent et où l'agriculture est associée à la production de bétail.

### **Soutien régional de l'IGMV au Togo**

L'IGMV au Togo est soutenue par la Banque mondiale/FEM. L'IGMV du Togo établit aussi des liens étroits avec le programme TerrAfrica, qui englobe l'Agence de l'Union africaine pour la planification et la coordination (UA-NEPAD), les organes de la Convention des Nations unies pour la lutte contre la désertification (CNULD), et d'autres partenaires tels que l'Agence panafricaine de la GMV. Le programme TerrAfrica et son organisme de coordination FEM-SIP dirigé par la Banque pour la GDT fournissent déjà un appui financier et non financier pour améliorer la pratique, la politique et la planification entre les secteurs, les parties prenantes, en conformité avec la Déclaration de Paris, les plans d'action nationaux de la CNULD, ainsi que le Plan Environnement et le Programme global de développement de l'agriculture en Afrique (CAADP) de l'UA.

En outre, les ressources de l'Association internationale de développement (IDA) de la Banque mondiale constituent la principale source de cofinancement. L'appui de l'IDA permettra aux pays de poursuivre des solutions de gestion intégrée des terres et de l'eau dans un portefeuille cohérent, notamment les opérations telles que la gestion des bassins versants et des ressources hydriques et des flancs de montagnes, la réduction des risques climatiques et des risques de catastrophe, l'agriculture et l'irrigation, le renforcement des capacités des acteurs locaux et des services déconcentrés et le reboisement. Le programme additionnel du FEM se focalise sur la sécurisation des services écologiques provenant de la mosaïque des paysages, en favorisant l'adoption de pratiques de gestion durable des terres et de l'eau et des approches qui présentent des avantages écologiques mondiaux. Il s'agit notamment des pratiques de conservation des sols et de l'eau telles que les

haies brise-vent, les arbres multi-usages sur les terres de production, l'irrigation à petite échelle et la collecte de l'eau. Les approches complémentaires pourraient comprendre, entre autres, la planification à grande échelle de la gestion des bassins versants ou la planification à plus petite échelle de l'utilisation des terres communautaires pour permettre le libre accès au bois de chauffe et à l'élevage, le développement et la gestion du corridor biologique, ainsi que le développement de l'écotourisme.

Le Fonds des pays les moins avancés (Fonds PMA) et le Fonds spécial TerrAfrica constitueront des sources supplémentaires de financement, notamment pour les activités d'adaptation ciblées (telles que la construction d'ouvrage de collecte de l'eau, les variétés de semences améliorées, les équipements de mesure de pluviométrie) pour réduire la vulnérabilité et augmenter la capacité d'adaptation aux impacts réels ou potentiels de la variabilité climatique.

La mise en œuvre du programme GMV au Togo va se faire à trois échelles.

– À l'échelle régionale : pour optimiser les synergies avec la plate-forme TerrAfrica et l'IGMV. Le programme va collaborer avec le Nouveau Partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD) qui assure les activités de coordination et de coopération au niveau régional (suivi et partage des connaissances). En outre, les institutions et autorités régionales telles que l'Agence panafricaine de la GMV, ainsi que les centres d'excellence et de recherche joueront un rôle clé en tant que partenaires pour la coordination et l'exécution des activités régionales. Globalement, le programme comptera sur les organismes publics et privés régionaux en place afin de coordonner et mettre en œuvre les opérations régionales ou multi-pays conçues pour compléter les agendas des pays (à travers le plaidoyer, les dialogues politiques ou les alliances opérationnelles) ou de s'attaquer aux problèmes des écosystèmes transfrontaliers. La Banque assurera la coordination avec les partenaires de TerrAfrica.

– À l'échelle nationale : le programme sera mis en œuvre à travers divers projets spécifiques au niveau national en fonction des priorités spécifiques identifiées, de la capacité d'absorption et des opérations d'investissement autonomes. Les ministères en charge de l'environnement et des forêts, de l'agriculture, du développement à la base, de l'eau, de l'énergie, de la planification, de la recherche sont des organismes qui pourraient être impliqués. Le programme se focalisera essentiellement sur les biens publics issus des interventions en Gestion durable des terres et de l'eau (GDTE) ; il nécessitera une extension à d'autres services consultatifs sur le terrain. Les ONG et les comités de coordination locale joueront également un rôle important en fournissant des conseils aux projets individuels afin qu'ils puissent contribuer à l'objectif commun du programme et en participant à la réalisation des priorités nationales.

– À l'échelle locale, les activités seront exécutées sous forme de sous-projets sélectionnés par appel à proposition. Dans chacune des cinq régions administratives, les Agences d'appui aux initiatives de base (AGAIB) seront responsables de la mise en œuvre des actions communautaires qu'exécuteront les groupements et organisations paysannes, les ONG et les collectivités locales.

## Stratégies opérationnelles du projet GMV au Togo

EN MATIÈRE DE GESTION DE L'ENVIRONNEMENT,  
DE LUTTE CONTRE LA DÉSSERTIFICATION ET DE GDT

Le Togo a élaboré plusieurs stratégies et politiques pour atteindre les Objectifs du millénaire pour le développement (OMD). Ces orientations politiques sont déclinées en de grands programmes nationaux actuellement en cours dans le Document complet de stratégie de réduction de la pauvreté (DSRP-C), le Plan d'action national pour le secteur de l'eau et de l'assainissement (PANSEA), le Programme d'action national de lutte contre la désertification (PAN), le Programme d'action décentralisé de gestion de l'environnement (PNADE), le Programme national d'investissement pour l'environnement et les ressources naturelles, le Programme national d'investissement pour l'agriculture et la sécurité alimentaire (PNIASA), etc. Les plus hautement prioritaires devant guider les actions des partenaires techniques et financiers (PTF) dans le programme GMV sont contenues dans le Programme national d'investissements pour l'environnement et les ressources naturelles (PNIERN) [Ministère de l'Environnement et des Ressources forestières (MERF), 2010].

### POUR LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'État togolais a élaboré de nombreuses stratégies et politiques [Première communication nationale (CNI), Deuxième communication nationale (DCN), Stratégie nationale de mise en œuvre de la convention sur les changements climatiques, Plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques (Pana)]. Le Pana poursuit trois objectifs fondamentaux à savoir (MERF, 2009) :

- la protection des vies humaines et leurs moyens de subsistance, ressources, infrastructures et environnement ;
- l'identification et la mise en œuvre des besoins urgents et immédiats d'adaptation des communautés aux impacts adverses des changements et variabilités climatiques ;
- l'intégration des mesures et objectifs d'adaptation aux politiques sectorielles et de planification nationale.

En outre, le Pana a identifié sept options prioritaires d'adaptation aux changements climatiques. Il s'agit de :

- l'adaptation des systèmes de production agricoles dans trois régions par la mise en place de techniques culturales intégrant le changement climatique et l'amélioration de l'information agro-météorologique ;
- la mise en place d'un système d'alerte précoce pour informer en temps réel contre les inondations dans les régions Maritime et des Savanes ;
- le renforcement du dispositif de protection du littoral contre l'érosion côtière dans la partie est du port autonome de Lomé ;
- l'appui et l'accompagnement des communautés rurales des régions des Savanes et des Plateaux pour prévenir et lutter contre les maladies vectorielles ;

- le développement de la petite irrigation en zones de bas-fonds pour les groupements de maraîchers existants des régions Centrale, Kara et Savanes, susceptible de freiner l'exode rural ;
- l'initiation des activités génératrices de revenus (AGR) pour les communautés de maraîchers et de pêcheurs de la zone du littoral pour faire face aux effets néfastes des changements climatiques ;
- l'appui au captage des ressources en eau de surface des régions des Savanes et de la Kara par les retenues d'eau collinaires à buts multiples.

#### **POUR LA CONSERVATION ET L'UTILISATION DURABLES DE LA BIODIVERSITÉ**

Le Togo a élaboré sa stratégie de conservation nationale de la biodiversité en 2003 en vue d'améliorer les conditions et le cadre de vie des populations et garantir aux générations futures, des ressources naturelles suffisantes dans la perspective d'un développement durable. Cet objectif doit être atteint à travers :

- le renforcement des capacités de tous les acteurs impliqués dans la gestion de la diversité biologique ;
- la préservation participative des aires représentatives des différents écosystèmes pour garantir leur pérennité et conserver leurs éléments constitutifs ;
- l'utilisation durable des ressources et le partage équitable des rôles, des responsabilités et des bénéfices découlant de la gestion de la diversité biologique.

#### **POUR LE FEM-5 2010-2014 (MERF, 2011A)**

Les acteurs ont identifié des priorités nationales en matière de dégradation des terres, des changements climatiques et de biodiversité parmi lesquelles le programme GMV a été vivement recommandé (tabl. 1 et Annexe 1). Ce sont les actions prioritaires suivantes :

- le renforcement des capacités des populations sur les pratiques culturelles adaptées aux changements climatiques dans l'extrême nord du Togo ;
- la mise en œuvre de technologies adaptées en matière d'utilisation de l'eau, de traitement et de conservation des sols, en tenant compte des connaissances endogènes ;
- la gestion durable des écosystèmes de forêts naturelles du Nord-Togo pour améliorer leur rôle dans l'adaptation aux changements climatiques ;
- la promotion des plantations familiales au nord du Togo (une famille, un hectare de plantation) ;
- l'appui aux populations pour le reboisement communautaire à base de plantes à usages multiples au Nord-Togo ;
- le renforcement des capacités des services techniques régionaux et des populations pour la lutte contre les feux de végétation ;
- le renforcement du système d'alerte précoce sur les inondations dans la région des Savanes.



Tableau 1  
Idées de projets soumises au FEM-5 pour la période 2010-2014.

Idées de projets	Zones d'intervention	Acteurs
<b>Sous-programmes sectoriels</b>		
<b>Gestion durable des terres</b>		
Appuis communautaires pour une gestion intégrée des terres	Régions Maritime, Plateaux, Kara et Savanes	MERF, MAEP, ONG, collectivités territoriales
Amélioration du cadre institutionnel et technique en gestion durable des terres	National	MERF, MAEP, ONG, collectivités territoriales
<b>Changements climatiques</b>		
Renforcement des capacités des acteurs sur les changements climatiques	National	MERF, MAEP, ONG, Université et centres de recherche, ministère en charge des Mines et de l'Énergie, collectivités territoriales
<b>Biodiversité</b>		
Conservation des forêts denses semi-décidues du Togo et préservation des espèces menacées	Région des Plateaux de Bassar	MERF, MAEP, ONG, syndicats des exploitants forestiers, collectivités territoriales
Aménagement des aires protégées	Régions Centrale et Maritime	MERF, MAEP, ONG, associations villageoises, collectivités territoriales
<b>Sous-programmes multisectoriels</b>		
Aménagement et gestion intégrée des zones humides	Région des Savanes, Kara et Maritime	MERF, MAEP, ONG, MEHVA, groupements de pêcheurs, collectivités territoriales
Projet de mise en place de la Grande Muraille Verte (PGMV) du Togo	Régions des Savanes et de la Kara	MERF, MAEP, ONG, groupements agricoles, lycées et collèges, universités, ministère de l'Action sociale, collectivités territoriales
<p>MERF : ministère de l'Environnement et des Ressources forestières ;  MAEP : ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche ;  MEHVA : ministère de l'Eau, de l'Hydraulique villageoise et d'Assainissement.</p>		

**POUR LE COMPTE DU PROJET DE GESTION INTÉGRÉE DES CATASTROPHES ET DES TERRES (PGCIT)**

Quatre composantes sont retenues pour mettre en œuvre la stratégie IMGV du Togo (Banque mondiale, 2011).

**Composante 1 : renforcement institutionnel et sensibilisation**

La capacité des organisations nationales, régionales, locales et communautaires clés engagées dans la GRC et la GDT sera renforcée à travers la fourniture d'équipements et de formations. En étroite collaboration avec le projet d'appui au secteur agricole (Pasa), le Projet ouest-africain de productivité agricole (WAAP), les activités de Réduction des risques de catastrophe (RRC), et les cours de formation sur la GDT seront élaborés. Les agents de vulgarisation seront formés afin de promouvoir et d'appliquer les techniques de GDT et les techniques résilientes aux changements climatiques. Les capacités des collectivités locales seront renforcées pour gérer plus efficacement les forêts et les zones pastorales. Le programme de formation est supposé profiter à 300 bénéficiaires issus de la société civile et 300 fonctionnaires des unités de vulgarisation forestière et agricole. Les variétés de cultures et des espèces animales identifiées pour leur forte résistance aux changements climatiques seront encouragées. Un centre de formation pour chaque région sera réhabilité pour accueillir cette formation.

Le service de la protection civile limitée à Lomé et sans moyens sera déconcentré, équipé et doté de moyens humains. Les besoins en équipement pour rendre opérationnelle la caserne des sapeurs pompiers de Kara seront satisfaits afin de prendre en charge les urgences dans les régions Nord-Togo. En plus, 10 plates-formes locales de GRC seront rendues opérationnelles.

Un système de coordination sera élaboré et mis en œuvre en vue d'assurer une coordination régulière des projets connexes, particulièrement dans les secteurs de l'environnement et de l'agriculture.

Des campagnes générales de sensibilisation sur les risques d'inondation et de dégradation des terres seront réalisées pour éduquer la population sur les zones inondables, les plans d'évacuation en cas d'inondation, et la prévention de l'inondation et pour améliorer l'état de préparation lorsque ces événements se produisent. La campagne de sensibilisation sera menée à travers la production de documentaires et le financement d'émissions de sensibilisation diffusées à la télévision, la radio et la presse.

**Composante 2 : activités communautaires pour l'adaptation aux changements climatiques et la gestion durable des terres**

Les techniques de GDT pour résister aux changements climatiques seront promues telles l'agriculture de conservation, la collecte des eaux de pluie, la lutte contre les feux de végétation, l'agroforesterie, les plantes de couverture, le pâturage par rotation, la collection de l'eau combinée à la planification plus large des bassins fluviaux et des paysages, la construction d'écosystèmes plus forts et plus résistants qui réduiront la vulnérabilité à la dégradation des terres, les inondations et la sécheresse. Une campagne de sensibilisation sera organisée dans 100 villages. Les organisations paysannes seront encouragées à lutter contre les feux de végétation, à promouvoir l'agroforesterie et la gestion des forêts.

Les activités communautaires dans les bassins fluviaux et les zones inondables permettant de renforcer la résistance à l'inondation, de mieux gérer les risques de catastrophe et de dégradation des terres, seront exécutées (curage de cours d'eau pour rétablir le flux naturel des voies navigables et réduire le risque d'inondation

dans les villages environnants, amélioration communautaire des canaux de drainage, stabilisation de barrages à travers le reboisement).

Les activités communautaires sur les terres en culture et les pâturages seront pilotées et promues dans des zones ciblées afin d'accroître la résistance de l'agriculture aux changements climatiques et promouvoir la productivité de la terre, ainsi que l'efficacité de l'utilisation de l'eau et les meilleures pratiques de GDT.

Les interventions dans les domaines couverts par le Pasa seront réalisées par introduction des techniques telles que la conservation agricole, les barrières en pentes transversales, l'agroforesterie ou la régénération naturelle.

Les communautés environnantes des aires protégées et de forêts ciblées recevront une assistance dans la préparation de plans de financement durable et le développement de petites activités génératrices de revenu afin de gérer durablement les forêts et les zones humides et de réduire la pression sur les ressources forestières et restaurer les services d'écosystèmes tels que les puits de carbone. La gestion participative sera promue et des plans de financement durable seront préparés dans 15 forêts communautaires. Un plan de gestion sera élaboré pour les zones humides dans les bassins fluviaux de l'Oti, Zio, Haho et Mono. La coordination avec les Comités villageois de développement (CVD) et les Associations villageoises de gestion des aires protégées (AVGAP) sera recherchée.

La délimitation du périmètre de la forêt classée à Abdoulaye sera mise en œuvre dans la région Centrale.

**Composante 3 : Systèmes d'alerte précoce (SAP), de suivi et de connaissances**

L'identification d'indicateurs locaux d'inondation (par exemple, les hippopotames qui quittent les rivières pour les secteurs en hauteur), la formation et la sensibilisation des communautés, un réseau de volontaires à la base, la communication et les alertes par téléphone mobile, l'identification des sites sécurisés d'accueil et des exercices de simulation sont des activités clés à mener. Le mécanisme de SAP mis en œuvre dans 100 communautés prioritaires depuis 2008, sera étendu à 200 autres communautés prioritaires.

Des plans pour étendre et renforcer le SAP communautaire existant sont convenus entre le Service de météorologie, le Service de l'hydrologie et la Croix-Rouge. Les activités prévues sont : (a) *soutien au Service de météorologie* : l'acquisition de 50 jauges de pluviométrie, le rééquipement des stations météorologiques clés et la formation. Une étude sera également effectuée pour identifier les besoins des services météorologiques et hydrologiques dans les régions des Plateaux, Centrale, de la Kara et des Savanes ; (b) *soutien au Service hydrologique* : l'installation de deux cents jauges de niveau de rivière (échelles limnimétriques) et six enregistreurs de niveau de rivière (*limnigraphes*). Une embarcation gonflable pour le travail hydrologique et océanographique sera achetée ; (c) *soutien à la Croix-Rouge* : les balises, les cyclomoteurs, les bicyclettes et certains matériels de bureau seront achetés. Au total, 570 agents de terrain (volontaires communautaires de la Croix-Rouge) et 42 points focaux d'alerte précoce seront formés.

Un SAP multirisque ciblant les paysans sera développé et des informations agro-météorologiques seront rendues plus accessibles. En outre, un système géographique national intégré basé sur le web avec des données sur la GDT, la GRC et les changements climatiques sera mis en place.

Un système national de suivi du climat et de la terre, y compris des données géospatiales, sera élaboré pour suivre la couverture végétale et l'utilisation des terres (culture, pâturage/parcours, forêt, zone humide, aire protégée et autres catégories pertinentes) et pour fournir des estimations de séquestration de carbone dans les zones sélectionnées du projet.

Le système de suivi environnemental sera basé sur le prototype régional de TerrAfrica qui a été élaboré au Mali pour permettre la compilation à différents niveaux : locaux, préfectoraux et régionaux. Le système de suivi environnemental portera aussi sur les feux de végétation.

Une mise à jour partielle de la cartographie nationale sera financée et les évaluations des risques ciblés seront effectuées, y compris l'analyse du danger, des atouts et de la vulnérabilité qui prend en compte les vulnérabilités géographiques, structurelles, opérationnelles et socio-économiques. De même, pour soutenir l'adoption de la GDT au Togo, un guide des meilleures pratiques intégrant les impacts possibles des changements climatiques sera élaboré.

La cartographie de la région de Lomé sera réalisée pour créer une base nécessaire au développement d'une approche globale aux questions d'inondation affectant la capitale et ses environs.

Le projet financera une étude analytique de l'hydrologie, l'implantation des installations et le profil économique et social de la population de Baguida (banlieue de Lomé) qui a été inondé pendant plus six mois au cours de l'année 2010. Cette étude comprendra un aperçu des différentes options d'investissement possibles pour trouver une solution à l'inondation dans la zone.

Les meilleures pratiques de GDT seront validées et diffusées au niveau national. Plusieurs guides seront ensuite diffusés dans le cadre de la campagne de sensibilisation.

#### **Composante 4 : gestion du projet**

Les fonctions de gestion du projet y compris la gestion fiduciaire, le suivi-évaluation (S&E), la supervision technique, l'élaboration de rapports et les audits seront couvertes. Étant donné la nature pilote de certaines des interventions prévues, l'accent sera particulièrement mis sur le rôle important de S&E.

## **Actions en cours, capitalisables pour le programme GMV**

### **PROGRAMME COMMUN DU MILLÉNAIRE**

Depuis 2008, ce programme conjoint des Agences des Nations unies au Togo et du gouvernement togolais, vise l'atteinte des Objectifs du millénaire pour le développement (OMD) dans 10 communes des régions des Savanes, Centrale, de Kara et Maritime qui sont les plus défavorisées du fait d'une plus grande incidence de la

## **La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux**

pauvreté. Ce programme s'inscrit au titre de la mise en œuvre du Plan cadre des Nations unies pour l'aide au développement (UNDAF 2008-2012). Une première phase pilote de deux à trois ans a démarré dans la région des Savanes et concerne les communes de Kountoiré et Naki-Est, lesquelles ont été choisies à partir de critères consensuels et objectifs sur la pauvreté et la vulnérabilité.

Les activités en cours de réalisation sont :

- l'agrosylvopastoralisme afin d'augmenter la production agricole, tout en améliorant l'environnement ;
- les investissements ciblés tels que les plates-formes multifonctionnelles pour soulager les femmes des lourds travaux domestiques ;
- les investissements en infrastructures (sanitaires, scolaires, assainissement, hydraulique villageoise, routes rurales, énergie) ;
- la microfinance ;
- la promotion de l'entreprenariat rural ;
- le renforcement des capacités institutionnelles, de gouvernance locale et des acteurs de développement.

Les résultats obtenus et qui pourront profiter au programme GMV dans cette partie du Togo sont :

- la formation d'une équipe de 30 personnes des services techniques et ONG de la région en MARP ;
- la conduite de diagnostic participatif ;
- les infrastructures et équipements ;
- l'acquisition de 857 tables-bancs au profit de l'ensemble des établissements scolaires ;
- la réhabilitation totale de 26 forages non fonctionnels ;
- la réhabilitation du centre médical de Naki-Est ;
- les activités de sensibilisation contre le VIH/Sida ;
- l'aménagement d'environ 150 ha de bas-fonds pour la riziculture et les cultures de contre-saison ;
- l'aménagement de sites pour la pisciculture et l'élevage de petits ruminants ;
- la mise en chantier de cantines scolaires dans les communes du Millénaire ;
- l'électrification de villages grâce à des panneaux solaires...

### **PROGRAMMES DE DÉVELOPPEMENT COMMUNAUTAIRE ET LE PROJET « BOIS-ÉCOLE »**

Afin de réhabiliter l'environnement et réduire la vulnérabilité de la population rurale aux conséquences de dégradation des sols, le projet de la Banque mondiale « Haute intensité de main-d'œuvre (Himo) », inscrits dans le cadre des Programmes de développement communautaire (PDC), a été lancé en 2010. Le but est d'offrir des emplois temporaires à environ 25 000 jeunes, notamment à travers le reboisement des espaces publics et communautaires. À la fin 2011, 305 sites de pépinières et 1 060 ha de sites de reboisement ont été prospectés, 1 212 pépiniéristes recrutés puis formés en technique de pépinière. Ces derniers ont été installés en leur propre

compte. Ces travaux ont également permis de produire 928 328 plants de bois d'œuvre, 371 216 plants de bois d'énergie et 62 712 fruitiers, soit un total de 1 362 316 plants, toutes catégories confondues.

Un autre projet semblable est mené par le Programme de renforcement de capacité pour la gestion de l'environnement (PRCGE) du MERF qui, avec le projet « Bois-École » a mis en place 100 ha de reboisement pour le compte de l'année 2011 dans 150 écoles du Togo.

#### **PROJET DE GESTION DURABLE DE LA FILIÈRE BOIS-ÉNERGIE DANS LA RÉGION DES SAVANES AU NORD DU TOGO**

Au regard de la situation de dégradation alarmante des espaces communautaires de la région des Savanes au nord du Togo (fig. 4), les acteurs locaux ont décidé d'engager un processus d'affectation des terres aux fins d'une gestion rationnelle et durable des ressources naturelles. C'est dans ce contexte que l'ONG Rafia (Recherche, appui, formation aux initiatives d'auto-développement) a initié le « projet de gestion durable de la filière bois énergie dans la région des Savanes au Nord-Togo » dans le cadre de son Programme régional biomasse énergie (PRBE). Ce programme est soutenu par l'UEMOA (Union économique et monétaire ouest-africaine) et vise à aider le Togo à assurer une part importante de sa demande en bois énergie en progression rapide, tout en préservant le couvert végétal, la biodiversité et assurer la gestion durable des écosystèmes de la région des Savanes. Vu l'importance que revêtent l'implication et la participation des communautés locales riveraines au maintien et à la mise en valeur des sites, les actions se focaliseront surtout sur l'aménagement, la mise en défens, la protection, l'enrichissement des zones critiques et s'étendront progressivement sur l'ensemble des périmètres retenus.

Le processus entamé en janvier 2008 a conduit à la réalisation de quelques études thématiques dans la zone du projet (végétation et flore ligneuse, socioéconomique et culturelle, cartographie) pour mieux appréhender la problématique d'aménagement, d'exploitation et de gestion des sites potentiels. Ces travaux ont permis, d'une part d'examiner l'état des ressources naturelles et les relations entre les populations et leur environnement, d'autre part d'explorer les mécanismes de gestion durable et participative. Les études ont concerné dès le départ quatre communautés villageoises localisées dans les préfectures de Kpendjal (Djéyiga, Natchambonga) et de l'Oti (Galangashie, Kadjitiérie). Mais compte tenu de l'état d'avancement des préalables requis (acceptation et implication des populations au projet, connaissance des milieux à retenir pour le projet), les travaux se sont focalisés sur les sites de Djéyiga et Natchambonga (très favorables et relativement mieux organisés), pour expérimenter l'approche de gestion communautaire des ressources naturelles des terroirs villageois qui donne le droit aux populations locales de décider du type d'affectation des sols à divers usages dans un contexte de développement durable.

En dehors de ce projet, des actions telles que le renforcement des capacités endogènes des acteurs en matière de sauvegarde et de protection de l'environnement sont menées dans la région septentrionale. Ces actions sont réalisées à travers la capitalisation et la diffusion de paquets technologiques sur la gestion durable des ressources naturelles, la formation des agents endogènes et leur mise en réseau. Au

total, six paquets technologiques ont été recensés, décrits et illustrés notamment sur la lutte antiérosive, le compostage, la gestion intégrée de la fertilité des sols, la construction des foyers améliorés, le reboisement et la lutte contre les feux de végétation. Parmi ces fiches techniques, trois sont déjà traduites en langue locale. Ces paquets décrits et traduits sont faciles à comprendre et favorisent par conséquent une large diffusion des options technologiques développées par Rafia en matière de gestion des ressources naturelles pour une production agricole durable.

En outre, d'autres associations mènent dans la région septentrionale des activités similaires. C'est le cas de l'Association Songou-Man qui organise les villageois dans la mise en place des plantations communautaires gérées par celle-ci. Songou-Man a réalisé 13 plantations communautaires sur 35 ha, essentiellement à objectif « production de bois de service » (fig. 5).



Figure 4  
Exemple de paysage agricole dans la région des Savanes.



Figure 5  
Plantation communautaire de Tantalou à Dapaang.

## PROGRAMME DES AIRES PROTÉGÉES

Le Togo fait partie du projet « Évolution des systèmes d'Aires protégées (AP) vis-à-vis du changement climatique en Afrique de l'Ouest-Parcc-Afrique de l'Ouest ». Il s'agit principalement d'un projet de développement d'outils scientifiques à l'échelle régionale afin d'appuyer l'amélioration de la gestion des systèmes d'aires protégées en réponse aux impacts du changement climatique. C'est un projet FEM dont le PNUE *World conservation monitoring centre* (UNEP-WCMC) est l'agence d'exécution (Unité de gestion du projet, PMU), et l'UICN Papaco est son principal partenaire régional (Unité de gestion régionale, RMU). Le projet court jusqu'en 2015 et couvre cinq pays pilotes en Afrique : Tchad, Gambie, Mali, Sierra Leone et Togo. Trois autres pays participent aux activités préparatoires concernant la conservation transfrontière (Burkina Faso, Côte d'Ivoire et Ghana).

Au Togo, ce projet est centré sur les aires protégées engagées dans un processus de requalification dont Abdoulaye, Alédjo, Amou Mono, Assoukoko, Bayémé, Djamdè, Doung, Fazao-Malfakassa, Galangachie, Sirka, Togodo. En effet, ces aires protégées sont considérées comme les outils les plus efficaces pour la conservation de la biodiversité, des écosystèmes qu'elles renferment ainsi que les services associés. Déjà limitées dans leurs capacités de satisfaction des services environnementaux, ces aires protégées doivent aujourd'hui faire face à de nombreuses pressions, dont celle du changement climatique considérée comme l'une des plus importantes menaces qui pèse sur la biodiversité. Le but du projet est l'amélioration de la protection et la gestion durable des écosystèmes représentatifs des aires protégées en Afrique de l'Ouest par le renforcement de l'évaluation du changement climatique et de l'adaptation à ses impacts. L'objectif du projet est d'améliorer la gestion régionale (transfrontalière) et nationale des AP par le renforcement des capacités scientifiques et techniques sur les questions suivantes : a) évaluation des risques liés au changement climatique, b) développement de la planification et de directives pour l'adaptation, etc) rationalisation de l'adaptation axée sur les risques en matière de gestion des AP. Le projet comporte quatre composantes (UICN-PAPACO, 2011).

### ***Évaluation de la vulnérabilité et stratégies de réduction des risques pour les systèmes d'aires protégées existants***

Cette composante tente d'évaluer de manière exhaustive l'étendue selon laquelle les aires protégées en Afrique de l'Ouest ont été touchées ou pourraient être touchées par les changements climatiques. Cela se fera à travers :

- l'évaluation de la vulnérabilité des aires protégées et le développement de stratégies d'adaptation pour celles qui sont le plus à risque ;
- l'évaluation de futurs scénarios de changement climatique grâce à des outils et des directives appropriés ;
- le développement de réponses de gestion adaptées pour les aires protégées qui sont le plus à risque ;
- la mise en place de stratégies de gestion d'adaptation et l'élaboration d'outils de suivi des résultats.



### **Analyse des lacunes/études et planification spatiale**

Cette composante met l'accent sur les études relatives aux changements climatiques, les évaluations et l'élaboration de cartes, qui sont nécessaires pour informer les décideurs et formuler des recommandations sur des interventions pratiques pour les situations spécifiques. Les cartes comprendront l'emplacement idéal de nouvelles aires protégées (au niveau national ou transfrontalier). Elles seront créées sur la base des évaluations au niveau national du statut des espèces globalement menacées, de l'étude des écosystèmes et de leurs services, de leur localisation et du flux de leurs bénéfices (tels que l'eau douce et le stockage de carbone), et enfin de l'évaluation des effets des changements climatiques sur les activités communautaires. Au niveau régional, la diffusion de ces informations auprès des réseaux existants en Afrique de l'Ouest sera un objectif clé.

### **Soutien politique et mise en œuvre, projets pilotes et formations**

Cette composante se focalise sur le renforcement des capacités et la sensibilisation de tous les acteurs afin que ces derniers bénéficient des outils, approches et recommandations formulées dans les deux premières composantes. Cela nécessite des formations à différents niveaux opérationnels et, le cas échéant, inclut l'élaboration de mesures politiques et autres mesures pour l'application de ces recommandations. Cette composante inclut également l'élaboration de programmes de gestion pour un projet pilote de corridor. Ceci implique d'autres modes de gouvernance tels que les communes, les autorités traditionnelles, et les communautés locales.

### **Gestion des connaissances, communication, suivi et évaluation**

Cette composante inclut le développement d'une stratégie de communication axée sur le renforcement des capacités. Le point central de toutes les connaissances, informations et données produites au cours du projet est posté sur le site web du projet et le portail de données. Ce portail centralise la gestion des données et l'analyse des activités. Il inclut également un outil de cartographie permettant aux utilisateurs de produire facilement une grande diversité d'analyses basées sur les informations recueillies. Il est également prévu le développement d'un système de suivi à long terme des aires protégées et des bénéfices qu'elles fournissent. Ce système pourra être utilisé dans toute la région, y compris les données de référence, les objectifs et les indicateurs de succès, afin de contribuer à une gestion durable des aires protégées résilientes aux effets du climat et autres facteurs de changement.

Un autre projet FEM en cours dans le parc Oti-Kéran-Mandouri (OKM) est le « projet de renforcement du rôle de conservation du système national des aires protégées ». Ce projet est né à la suite de la conversion des écosystèmes du complexe OKM (179 000 ha) et de la surexploitation des ressources naturelles après les troubles socio-politiques des années 1990 qui ont entraîné la création des villages et l'extension de l'agriculture dans les AP, la fragmentation des habitats par les couloirs de bétail et les champs, les feux de végétation, la dégradation des sols, la destruction de la couverture végétale, le surpâturage dans les AP, le braconnage de la faune sauvage et la surexploitation des produits forestiers ligneux et non ligneux. L'objectif du projet est de renforcer la gestion du système des aires protégées du Togo afin d'améliorer la contribution à la conservation de la biodiversité. Les deux

principaux résultats attendus sont l'amélioration du cadre politique, juridique et institutionnel des aires protégées et la gestion efficace des aires protégées du complexe OKM (fig. 6). Le projet vient en appui à la finalisation du processus de

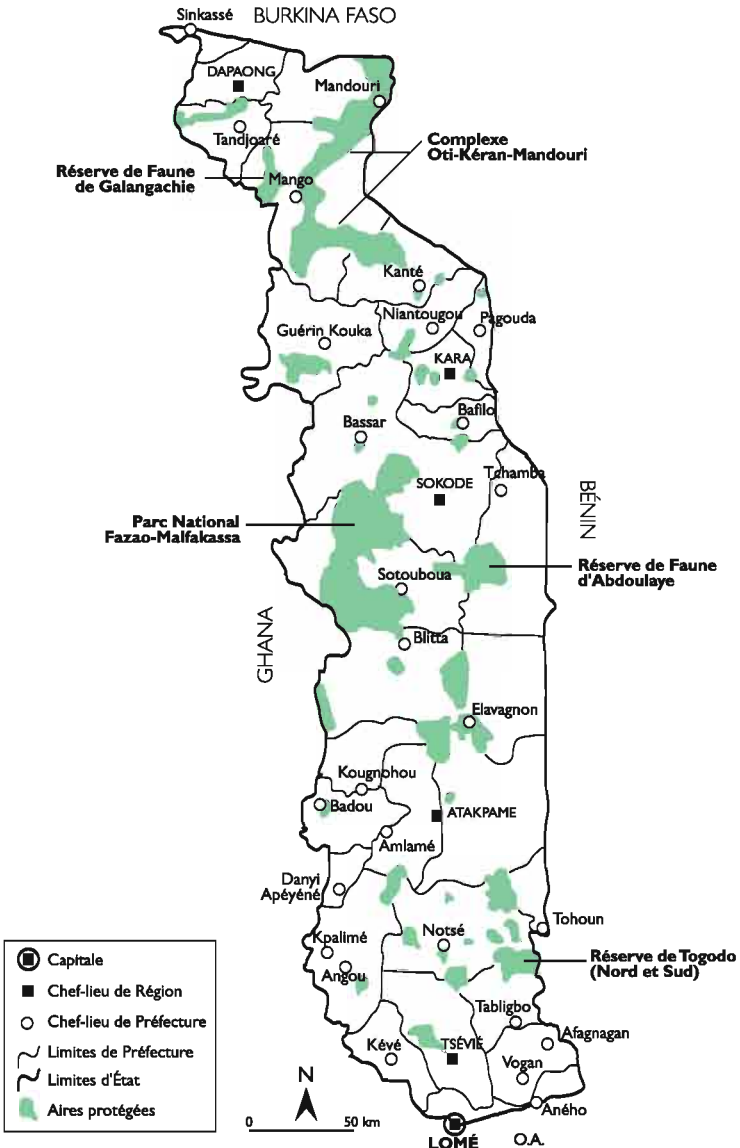


Figure 6  
AP du Togo et complexe OKM au nord du Togo.

requalification en cours dans ce complexe d'AP (i) en formant le personnel en charge de la gestion, y compris les Associations villageoises de gestion des aires protégées/Unions des associations villageoises de gestion des aires protégées (AVGAP/UAVGAP), les communautés locales, les services techniques déconcentrés, (ii) en planifiant la gestion du système des AP (développement des contrats de partenariat incluant des contrats de cogestion des AP avec les communautés locales, secteur privé), (iii) en promouvant le marketing des AP. Un autre aspect intéressant de ce projet, c'est qu'il donne la possibilité de créer des microprojets pouvant bénéficier de l'appui du PNADE. Le PNADE est financé par le 10<sup>e</sup> FED de l'Union européenne et mis œuvre par l'Agence nationale de gestion environnementale (ANGE).

En outre, ce projet jette les bases de la restauration des principaux corridors qui relie le complexe OKM au W-Arly Pendjari (WAP) et favorisera l'interconnexion écologique. En effet, la démarche entreprise pour la prise en compte du Togo dans le projet régional WAP a été acceptée lors du premier Conseil des ministres et du lancement officiel du PAPE, le 10 février 2011 à Ouagadougou, pour le développement d'une vision stratégique de politique régionale concertée. Cette intégration permettra :

- la mise à niveau du complexe OKM par rapport au WAP ;
- la coopération au niveau régional pour la gestion durable du complexe OKM ;
- le maintien du cycle biologique des espèces migratrices ;
- l'accroissement de la valorisation touristique ;
- la mise en œuvre conjointe des mesures d'amélioration de la connectivité entre les complexes ;
- la définition consensuelle du principal corridor de migration de la faune entre les complexes OKM et WAP.

## Conclusion

Cette synthèse permet de montrer que sous l'effet de la pauvreté des populations locales, de la dégradation des terres, des risques et catastrophes ainsi que des changements climatiques et des scénarios de prévisions futures avec une alternance de périodes sèches et de périodes très pluvieuses, le programme GMV apparaît comme une opportunité d'adaptation pour le Togo, en particulier dans la partie septentrionale plus vulnérable. Le présent travail de synthèse sur les avancées de l'IMGV au Togo montre qu'aucune action n'est encore concrètement entreprise sur le terrain. Cependant, plusieurs partenaires financiers et techniques y adhèrent et comptent apporter leur soutien. L'État togolais s'y prépare à travers la mise en place de stratégies GMV, notamment par la prise en compte de l'IMGV dans des plans, programmes et projets en matière de gestion de l'environnement, de lutte contre la

désertification et de GDT, de lutte contre les changements climatiques, de conservation et d'utilisation durables de la biodiversité, du FEM-5, de la Facilité mondiale pour la réduction de risque de catastrophe et de la relance. Néanmoins des actions à petites échelles sont actuellement en cours dans certaines localités et vont contribuer au succès de l'IGMV au Togo.

## Références

- Agbossou A.  
2009 - Etablissement des scénarios climatiques pour les études de vulnérabilité et d'adaptation au Togo.  
PNUD : 32 p.
- Banque Mondiale  
2011 - Projet de Gestion Intégrée des Catastrophes et des Terres (GICT).  
Document d'Evaluation de Projet : 105 p.
- Gagnol L.  
2011 - La mobilité : stratégie adaptative ou symptôme d'inadaptation des sociétés sahéliennes ? Une mise en perspective historique des politiques de lutte contre la désertification.  
Communication au Séminaire « Politiques, programmes et projets de lutte contre la désertification, quelles évaluations ? », CSFD, 29-30 juin 2011, Montpellier.
- GTZ  
2007 - Adaptations aux changements climatiques et lutte contre la désertification.  
OSS/GTZ, Note introductive n°1, Tunis, 2<sup>e</sup> édition : 28 pp. ISBN : 978-9973-856-24-11
- IPCC  
2001 - *Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*.  
Contribution of Working Group II to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.  
IPCC/WMO/UNEP.
- Kandji S. T., Verchot, L., Mackensen, J.  
2006 - Climate Change and Variability in the Sahel Région : Impacts and Adaptation Strategies in the Agricultural Sector.  
Word Agroforestry Centre.  
Programme des Nations Unies pour l'environnement.
- Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF)  
2009 - Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques – PANA, Togo : 113 p.
- Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF)  
2010 - Programme National d'Investissements pour l'Environnement et les Ressources Naturelles au Togo (PNIERN), Togo : 133 p.
- Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF)  
2011a - Priorités nationales pour la mise en œuvre du FEM-5 2010-2014.  
MERF, Togo : 16 p.
- CEN-SAD  
2008 - Initiative Grande Muraille Verte du Sahara et du Sahel. Note Introductive n°3-OSS Tunis : 46 p.
- Sokona Y.  
2007 - Lutte contre la désertification en Afrique sub-saharienne.  
*agriculture & développement rural* n°1, pp : 16-18.
- UICN-PAPACO  
2011 - Le projet Evolution des systèmes d'AP vis-à-vis du changement climatique en Afrique de l'Ouest – « PARCC- Afrique de l'Ouest ». Programme Aires protégées d'Afrique du Centre et de l'Ouest, n°46, pp : 1-8.
- Wigley T.M.L., Jones P.D., Briffa K.R., Smith G.  
1990 - Obtaining sub-grid-scale information from coarse-resolution general circulation model output.  
*Journal of Geophysical Research* 95 : 1943-1954.

## Annexe

*Quelques actions identifiées par les acteurs sur le terrain  
dans la mise en place de la Muraille Verte togolaise  
pour une lutte efficace contre les effets des changements climatiques*

<b>Thématique</b>	<b>Idées de projets/actions prioritaires</b>
<b>Biodiversité</b>	<p><i>Parc Fazao-Malfakassa</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Promouvoir le tourisme (ouverture/aménagement de piste, retenues d'eau, miradors)</li> <li>– Initier des AGR dans la zone tampon (ferme d'élevage, apiculture, activités agro-sylvo-pastorales, etc.) pour réduire les pressions sur les ressources du parc</li> <li>– Construire des pistes périphériques autour du parc afin de maîtriser les entrées et sorties</li> <li>– Doter les villages d'infrastructures socio-collectives (forages, centres de santé, etc.)</li> <li>– Sensibiliser la population afin de les préparer à la protection des ressources du parc</li> <li>– Faire une relecture de la convention entre Franz Weber et l'État togolais</li> <li>– Initier des zones synégétiques communautaires ou de sylviculture communautaire sous forme de projet pilote dans les villages environnants où de larges surfaces de terrains vierges sont encore disponibles (Bougabou et Kona)</li> </ul>
	<p><i>Bandjéli</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sauvegarder <i>Phyllanthus rouxii</i> (patrimoine de Bandjéli) menacée par l'exploitation des mines de fer par des essais de multiplication et d'acclimatation</li> </ul>
	<p><i>Kara</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Reboiser les écosystèmes dégradés de flancs de montagne</li> <li>– Restaurer, aménager et protéger les forêts sacrées et forêts communautaires</li> <li>– Protéger et accroître la production des espèces de PFNL (Karité et Néré) qui sont aujourd'hui très recherchées pour la fabrication du charbon de bois ou des mortiers</li> <li>– Vulgariser/sensibiliser/renforcer les textes/lois qui protègent les berges des cours d'eau</li> <li>– Appuyer les populations riveraines du fleuve Kara pour le reboisement des berges dégradées à l'échelle du bassin</li> </ul>
	<p><i>Kantè</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Réhabiliter le parc national Oti-Kéran et sa zone périphérique (finalisation du bornage, valorisation des zones rétrocédées par le reboisement, mise en place des infrastructures pour l'approvisionnement en eau à l'endroit de la population (forage, puits), création des AGR (apiculture, élevage, maraîchage, octroi de crédits à l'endroit des populations riveraines, et valorisation du tourisme)</li> <li>– Renforcer les capacités techniques des populations riveraines du parc de la Kéran (former les éleveurs sur les techniques de stockage de foin, éveiller la conscience des jeunes sur les questions de reboisement, etc.)</li> </ul>

Thématique	Idées de projets/actions prioritaires
	<p><i>Mango</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Créer des AGR à l'endroit des populations riveraines des aires protégées de la région</li> </ul>
	<p><i>Dapaong</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Conserver les plantes à vertu thérapeutique et alimentaire en voie de disparition</li> <li>– Réhabiliter les écosystèmes dégradés (flancs de montagne, forêts sacrées et autres) à partir de la régénération naturelle assistée et la promotion des essences à croissance rapide à travers l'agroforesterie</li> <li>– Appuyer les communautés riveraines des berges des cours d'eau par la création des AGR</li> </ul>
<b>Dégradation des terres</b>	<p><i>Région de la Kara</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Cartographier les sols et en faire une typologie en fonction de leur aptitude</li> <li>– Reboiser les sites dégradés et les berges du fleuve Kara (étendre dans tout le bassin)</li> <li>– Créer les activités alternatives aux maraîchers qui utilisent les berges du fleuve Kara et qui provoquent la pollution par l'utilisation des pesticides et des engrais</li> <li>– Développer les plants de couverture pour limiter la dégradation des terres, régénérer les sols de montagne et limiter l'érosion</li> <li>– Associer l'élevage à l'agriculture dans une perspective de fabrication du compost avec les déchets animaux</li> <li>– Vulgariser les techniques de compostage dans la culture des céréales dans la partie est de la région de la Kara</li> <li>– Promouvoir les actions et des technologies endogènes de lutte contre l'érosion des sols (cordon pierreux, cultures en terrasses, digues, etc.)</li> <li>– Appuyer le renforcement des capacités/formation des jeunes (élèves des collèges et lycées) sur les techniques de pépinière, greffage pour le reboisement et la création des espaces verts dans la région de la Kara (on pourra choisir des villages pilotes)</li> </ul>
	<p><i>Kantè</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Procéder à la mise en défens temporaire et de reboisement des flancs de montagne pour la restauration de la couverture végétale et des sols</li> <li>– Aménager les plans d'eau permanents pour le maraîchage afin de détourner les riverains de l'activité de charbonnage</li> </ul>
	<p><i>Mango</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aménager les zones humides (reboisement des bas-fonds, berges des cours d'eau, des corridors dans le bassin de l'Oti) et appuyer les groupements agricoles pour une exploitation durable</li> <li>– Réhabiliter et agrandir les retenues d'eau (barrage) servant pour l'irrigation des rizières de la région pour la pratique de la riziculture intensive en toute saison</li> <li>– Reboiser les zones culturales par l'agroforesterie pour la restauration de la fertilité et la protection des sols</li> </ul>

Thématique	Idées de projets/actions prioritaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Réglementer l'exploitation des ressources naturelles (terres et ressources halieutiques)</li> <li>– Octroi de microcrédits pour le renforcement des capacités techniques (équipement) des groupements agricoles</li> <li>– Sensibiliser les groupements agricoles sur les pratiques agricoles adaptées aux types de sols dans la région et sur la promotion des pratiques agricoles durables</li> <li>– Appuyer les ONG de la région pour la sensibilisation des populations sur les grands problèmes environnementaux (dégradation des terres, feux de végétation, sécheresse, etc.)</li> <li>– Promouvoir les techniques culturelles endogènes dans la région</li> </ul>
	<p><i>Dapaong</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Reconstituer les sols à travers l'installation des plantations familiales dans la région des Savanes (une famille, un ha)</li> <li>– Renforcer les capacités des populations sur les pratiques permettant la restauration des terres (fosse de compostage, cultures suivant les courbes de niveau, cultures en terrasses, installation des diguettes, productions des plants, agroforesterie, etc.)</li> <li>– Promouvoir les essences fourragères (formation sur les techniques de stockage et de conservation du fourrage, mise en place des corridors à base d'essences fourragères, etc.)</li> <li>– Appuyer les populations pour la pratique de l'élevage en enclos (infrastructures et équipements, renforcement des capacités pour l'entretien des animaux, formation pour la production du compost, etc.)</li> </ul>
<p><b>Changements climatiques</b></p>	<p><i>Bandjéli</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mettre en place des infrastructures sanitaires (centres de santé) dans les villages et les doter de matériels nécessaires pour les soins des populations (recrudescence/émergence de nombreuses maladies telles que la toux, les anémies, etc.)</li> <li>– Lutter contre les effets des changements climatiques (inondation, détournement des eaux de ruissellement, tarissement des cours d'eau, dérèglement des saisons, sécheresse, etc.) accentués par l'exploitation des carrières de fer responsables des inondations</li> <li>– Créer une ceinture verte ou une bande d'arbres en synergie avec le projet Himo (financement de AGAIB et mise en œuvre par l'Odef et les populations locales) pour accroître les actions de reboisement sur les collines de la région</li> <li>– Créer une ceinture verte autour du parc de la Kéran vers le village d'Ossacré qui connaît une forte activité de production de charbon de bois</li> <li>– Sensibiliser les populations sur les atteintes à l'environnement (coupe anarchique de bois, feux de végétation, etc.)</li> </ul>
	<p><i>Kara</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Subventionner les femmes qui fabriquent le charbon de bois pour la création d'activités alternatives</li> <li>– Subventionner les ménages moyens pour l'installation des foyers améliorés afin de limiter l'utilisation excessive du charbon de bois</li> <li>– Réaliser des microprojets d'adduction d'eau (retenues, forages, puits) autour des aires protégées (parc national Oti-Kéran) pour gérer la transhumance</li> </ul>

Thématique	Idées de projets/actions prioritaires
	<ul style="list-style-type: none"><li>– Assurer une gestion intégrée des ressources en eau par la création des AGR autour des aires protégées</li><li>– Améliorer le cadre de vie des populations [gestion des déchets liquides, solides, initiation/construction des latrines et/ou fosses septiques familiales, lutte contre les maladies émergentes et réémergentes avec les changements climatiques (cancer, leucémie, etc.)]</li><li>– Mettre en place un laboratoire de contrôle efficace contre les produits frelatés (médicaments, huiles, boissons, articles manufacturés, etc.)</li><li>– Subventionner l'utilisation du gaz à butane pour substituer l'usage excessif du charbon de bois comme source d'énergie domestique)</li><li>– Appuyer au développement des énergies propres et d'utilisation optimale de l'énergie (panneaux solaires pour l'électrification rurale et urbaine, vulgarisation des lampes électriques à basse consommation, promotion de la consommation des énergies renouvelables, etc.)</li><li>– Appuyer la gestion des déchets issus des centrales énergétiques [traitement des déchets issus des transformateurs des postes de transformation électrique (isolants prohibés)]</li></ul>
	<p><i>Kantè</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Reproduire le projet bois-école qui consiste à faire planter les écoles sur un périmètre leur appartenant pour accroître la couverture forestière dans la préfecture</li></ul>
	<p><i>Dapaong</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Sensibiliser le soutien à la mise en place de la muraille verte dans la partie septentrionale du Togo</li><li>– Renforcer les capacités (sensibilisation et formation) des populations sur les questions liées aux changements climatiques</li><li>– Installer les infrastructures de fourniture d'eau aux populations en milieu rural (puits maraîchers, forage, puits, retenues d'eau pour l'irrigation et l'arrosage des pépinières)</li></ul>





# Mycorhization contrôlée et fertilisation phosphatée Applications à la domestication du jujubier, arbre fruitier forestier sahélien

*AMADOU M. BÂ*  
IRD/Laboratoire Commun de Microbiologie, Centre de recherche, IRD / ISRA, BP 1386, Dakar, Sénégal

*TIBY GUISSOU*  
Laboratoire de Microbiologie forestière, DPF/INERA, BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso

*ROBIN DUPONNOIS*  
Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Laboratoire d'Écologie et Environnement (L2E)  
(Unité Associée au CNRST, URAC32), Marrakech, Maroc

*CHRISTIAN PLENCHETTE*  
Station d'Agronomie, INRA, BP 86510, 17 rue Sully, 21065 Dijon, France

*OUSMANE SACKO*  
École Normale Supérieure, BP 241, Bamako, Mali

*DAOUDA SIDIBÉ*  
Institut d'Économie Rurale, BP 270, Bamako, Mali

*KONDÉ SYLLA*  
Direction des Eaux et Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols  
et Projet de Reboisement villageois dans le nord-ouest du Bassin arachidier, BP 338 A, Thiès, Sénégal

*BABA WINDOU*  
Direction des Eaux et Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols  
et Projet de Reboisement villageois dans le nord-ouest du Bassin arachidier, BP 338 A, Thiès, Sénégal

## Introduction

Les arbres fruitiers sont d'un grand intérêt alimentaire et économique dans la zone soudano-sahélienne. Ce sont des arbres à usages multiples et exploités de manière extensive, pour leurs fruits, leurs graines, le fourrage, le bois et la pharmacopée (Okafor, 1991). Ils participent donc à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations du Sahel en leur procurant aussi des revenus non négligeables, notamment en saison sèche. La plupart de ces fruitiers sont à croissance lente et leur sylviculture est encore peu maîtrisée. Par exemple, l'espèce *Zizyphus mauritiana* Lam., communément appelée jujubier, est l'un des arbres fruitiers forestiers les plus

recherchés par ces populations intéressées surtout par ses fruits. D'après une enquête faite au nord-est du Sénégal, la vente des jujubes par les villageois, en particulier par les femmes, représenterait plus de 50 % des revenus tirés de la forêt par les pasteurs localisés dans la zone de forage de Mbiddi, au nord du Sénégal (*Projet ligneux...*, 1997).

La recherche en matière de foresterie s'intéresse à une domestication des jujubiers orientée vers l'obtention de variétés productives de fruits de qualité. La domestication est en effet une démarche itérative comprenant l'identification des plants, l'étude de leur production, la gestion de leur exploitation et la constitution d'un germplasm sélectionné (Leakey et Simons, 1998 ; Leakey et Tomich, 1999). C'est un processus qui prend nécessairement en compte le choix, par les paysans arboriculteurs, des arbres fruitiers à domestiquer et la situation du marché de l'offre et de la demande en fruits. La domestication des arbres fruitiers forestiers proprement dite repose aussi bien sur l'amélioration de la production fruitière que sur la connaissance des contraintes du milieu susceptibles de la limiter ou même de l'inhiber. Plusieurs approches complémentaires ont pu être envisagées pour améliorer le matériel végétal : la conservation de la ressource, la multiplication végétative pour le clonage d'individus repérés *in situ* pour la qualité de leur fruit, l'introduction de variétés d'arbres fruitiers domestiquées et productives, la création par hybridation de variétés améliorées qui peuvent être caractérisées du point de vue moléculaire (Okafor, 1991 ; Leakey et Tomich, 1999 ; Leakey, 1999). Par ailleurs, l'utilisation de certaines techniques sylvicoles adaptées à la gestion des espèces fruitières de la forêt peut également permettre d'améliorer la production : la taille de l'arbre, l'irrigation, la fertilisation phosphatée avec des engrais solubles ou des phosphates naturels ou la mycorhization contrôlée (Bajwa *et al.*, 1988 ; Bâ *et al.*, 2000). L'analyse bibliographique présentée, appuyée sur nos propres expérimentations, s'est surtout intéressée aux recherches orientées vers ces deux dernières approches. Elle a permis de mettre en évidence les avantages imputables à l'utilisation de la mycorhization contrôlée et de la fertilisation phosphatée à l'aide de phosphates naturels pour l'exploitation du jujubier de systèmes agroforestiers à faible niveau d'intrants.

## Utilisations du jujubier

Le jujubier est un petit arbre buissonnant de la famille des Rhamnacées. Il mesure de 3 m à 8 m de haut (fig. 1). Il est très commun dans les zones sahéliennes où il se trouve soit à l'état isolé, soit, parfois, en peuplements purs. Il a une aire naturelle de répartition très large : Afrique tropicale, Amérique du Sud, Caraïbes et Asie du Sud-Est. C'est un arbre rustique à croissance lente qui pousse sur des sols très pauvres (Depommier, 1988). L'intérêt principal du jujubier est son fruit qui est consommé frais ou sec et qui peut servir à la préparation de galettes, de condiments et de boissons rafraîchissantes. C'est une petite drupe ovoïde allongée dont la pulpe

est très riche en glucides et en vitamines A et C. Certaines variétés indiennes et thaïlandaises de jujubiers domestiqués produisent des fruits de la taille d'une cerise (fig. 2). Comme la plupart des arbres, le jujubier a de nombreux usages. Les feuilles sont consommées comme légume et surtout comme fourrage d'appoint pendant la saison sèche. Son bois dense est résistant aux termites et facile à travailler pour la fabrication d'ustensiles de cuisine et d'outils. Les racines, écorces et feuilles sont utilisées dans la pharmacopée traditionnelle. L'arbre fait aussi l'objet de plantations en vergers où il fructifie 2 ans en moyenne après sa mise en place. Dans des systèmes agroforestiers, il peut être exploité en banque fourragère, haie vive ou brise-vent (Bonkougou *et al.*, 1998).



© P. Dardhu

Figure 1.  
Cueillette de jujubes.



© P. Dardhu

Figure 2.  
Jujubes de la taille d'une cerise (variété Golan) comparés à des jujubes d'une variété sahélienne.

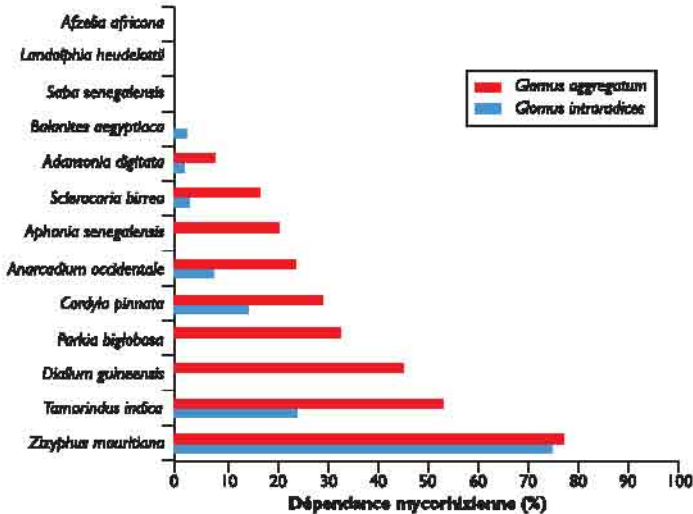


Figure 3.  
Dépendance mycorrhizienne de 13 arbres fruitiers forestiers vis-à-vis de deux champignons mycorrhiziens à arbuscules, *Glomus aggregatum* et *G. intraradices*.

Tableau 1.  
Classement de certaines espèces d'arbres fruitiers forestiers  
en fonction de leur dépendance mycorhizienne  
vis-à-vis du champignon mycorhizien à arbuscules *Glomus aggregatum*.

Espèce fruitière	Dépendance mycorhizienne (%)	Observation
<i>Zizyphus mauritiana</i>	> 75	Haute dépendance
<i>Tamarindus indica</i>	> 50 < 75	Relative bonne dépendance
<i>Cordyla pinnata</i>	> 25 < 50	Dépendance modérée
<i>Dialium guineensis</i>	“	“
<i>Parkia biglobosa</i>	“	“
<i>Adansonia digitata</i>	> 0 < 25	Dépendance marginale
<i>Anarcadium occidentale</i>	“	“
<i>Aphania senegalensis</i>	“	“
<i>Sclerocaria birrea</i>	“	“
<i>Azelia africana</i>	Nulle	Aucune dépendance
<i>Balanites aegyptiaca</i>	“	“
<i>Landolphia heudelottii</i>	“	“
<i>Saba senegalensis</i>	“	“

Tableau 2.  
Effets de différentes formes de phosphate sur des jujubiers inoculés ou non  
avec le champignon mycorhizien *Glomus aggregatum*,  
observés après 3 mois de croissance en pot (phosphate naturel (PN) à 250 kg phosphore  $\times$  ha<sup>-1</sup> ;  
triple superphosphate (TSP) à 25 kg phosphore  $\times$  ha<sup>-1</sup>).

État des jujubiers	Origine du phosphate	Biomasse totale (g)	Phosphore des tiges et feuilles (%)	Intensité de mycorhization (%)
Non inoculé	Sans P	0,38 a	0,05 a	0,00 a
	PN Mali	0,57 a	0,05 a	0,00 a
	PN Sénégal	0,29 a	0,05 a	0,00 a
	PN Burkina Faso	0,32 a	0,04 a	0,00 a
	TSP	1,80 d	0,20 e	0,00 a
Inoculé	Sans P	1,50 bc	0,14 b	78,47 bc
	PN Mali	1,87 d	0,16 c	95,39 d
	PN Sénégal	1,30 bc	0,17 cd	66,00 b
	PN Burkina Faso	1,25 b	0,18 de	87,13 cd
	TSP	2,70 e	0,19 e	63,60 b

Dans chacune des colonnes, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes selon la méthode de Newman et Keuls au seuil de 5 %. Chaque valeur représente la moyenne sur douze plants.

## Intérêts de la mycorhization contrôlée

Les mycorhizes sont des symbioses ou associations à bénéfices réciproques entre des racines de plantes et des champignons du sol. Il existe deux principaux types de symbiose mycorhizienne : les ectomycorhizes et les mycorhizes à arbuscules. Les mycorhizes à arbuscules concernent 90 % des espèces végétales terrestres et sont

Tableau 3.  
Effets de l'apport de différentes doses de phosphate naturel (PN) du Mali et de triple superphosphate (TSP) à des jujubiers inoculés ou non avec le champignon mycorhizien *Glomus aggregatum*, observés après 3 mois de croissance en pot.

État des jujubiers	Origine du phosphore	Doses de phosphore (kg P x ha <sup>-1</sup> )	Biomasse totale (g)	Phosphore des tiges et feuilles (%)	Intensité de mycorhization (%)	
Non inoculé	Sans P	0	0,27 a	0,09 ab	0,00 e	
		PN Mali	25	0,21 a	0,10 ab	0,00 e
		50	0,30 a	0,07 a	0,00 e	
		75	0,28 a	0,06 a	0,00 e	
		100	0,28 a	0,12 b	0,00 e	
		125	0,30 a	0,11 ab	0,00 e	
	TSP	25	1,86 bc	0,20 cde	0,00 e	
		50	2,41 cde	0,18 c	0,00 e	
		75	2,37 bcde	0,25 f	0,00 e	
		100	3,49 fg	0,25 f	0,00 e	
		125	2,87 ef	0,31 gh	0,00 e	
		Inoculé	Sans P	0	1,67 bc	0,24 ef
PN Mali	25			2,12 bcd	0,23 def	64,44 b
50	2,44 cde			0,19 cde	67,98 ab	
75	2,11 bcd			0,19 cde	57,38 bc	
100	1,82 bc			0,23 def	86,29 a	
125	3,06 efg			0,19 cde	73,64 ab	
TSP	25		2,88 e	0,22 cdef	57,15 bc	
	50		2,41 cde	0,26 f	76,46 ab	
	75		2,65 de	0,25 f	46,02 c	
	100		2,67 de	0,31 gh	48,82 c	
	125		3,59 g	0,27 fg	30,74 d	

Dans chacune des colonnes, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes selon la méthode de Newman et Keuls au seuil de 5 %. Chaque valeur représente la moyenne sur douze plants.

universellement répandues. Elles présentent des structures typiques à l'intérieur des racines ; il s'agit de vésicules stockant des réserves et d'arbuscules, lieu d'échanges entre le champignon et la plante hôte. Les champignons responsables de ces structures appartiennent à la classe des Glomeromycota et à l'ordre des Glomales. Les arbuscules sont présents chez tous les Glomales mais les vésicules s'observent uniquement dans les familles des glomacées et des acaulosporacées. Le champignon permet à la plante d'explorer un volume important de sol pour s'approvisionner en éléments minéraux. En retour, le champignon reçoit de la plante des photosynthétats qu'il est incapable de fabriquer lui-même. Cette symbiose améliore de manière remarquable la croissance et la nutrition phosphatée des plantes et leur permet de mieux résister à certaines maladies racinaires et d'exploiter au mieux les ressources en eau (Smith et Read, 1997). La mycorhization contrôlée est un ensemble de techniques qui consiste à isoler, cultiver, sélectionner, multiplier, incorporer et suivre le champignon dans le sol afin de produire des plants « biologiquement améliorés » par optimisation de la symbiose (Garbaye, 1991). Si ces techniques ont commencé à être transférées dans les régions tempérées ou dans certaines régions tropicales, elles ont fait l'objet de très peu d'études en Afrique de l'Ouest.

## Production d'inoculum de champignons mycorhiziens à arbuscules

Les sols ouest-africains renferment une grande diversité de champignons mycorhiziens à arbuscules qui peuvent être identifiés grâce à la morphologie de leurs spores (Bâ *et al.*, 1996 ; Dalpé *et al.*, 2001). Ces champignons sont inféodés aux plantes et ne présentent pas de spécificité d'hôtes. À partir d'une collection de 13 espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules disponibles dans notre laboratoire (Bâ *et al.*, 1996 ; Dalpé *et al.*, 2001), nous en avons sélectionné une, *Glomus aggregatum*, efficace aussi bien sur des arbres que sur des plantes annuelles (Guissou *et al.*, 1998 ; Bâ *et al.*, 2000 ; Bâ et Guissou, 1996 ; Dianou et Bâ, 1999). Ce champignon a été multiplié sur des racines de mil cultivé en pot dans une chambre de culture. Après 4 mois de culture, l'inoculum obtenu se présentait sous forme de fragments de racines mycorhizées, d'hyphes et de spores à une concentration d'environ 1 127 propagules viables par g de sol (Guissou *et al.*, 1998).

## Dépendance mycorhizienne du jujubier

La notion de dépendance mycorhizienne exprime dans quelle mesure la symbiose est susceptible d'accroître la biomasse des plantes dans des conditions environnementales données (Plenchette *et al.*, 1983). Elle varie suivant la plante hôte, le champignon et

les conditions édaphiques. Nous avons comparé la dépendance mycorhizienne du jujubier (*Z. mauritiana*) à celle de douze autres arbres fruitiers forestiers indigènes ou exotiques (*Adansonia digitata*, *Azelia africana*, *Anarcadium occidentale*, *Aphania senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Cordyla pinnata*, *Dialium guineensis*, *Landolphia heudelottii*, *Tamarindus indica*, *Parkia biglobosa*, *Saba senegalensis* et *Sclerocaria birrea*) dans un sol sableux faiblement acide (pH eau = 6,4), pauvre en phosphore biodisponible (6,6 g kg<sup>-1</sup> de sol) et stérilisé à l'autoclave pour éliminer la microflore native. L'inoculation a été réalisée en comparant une souche efficace, *G. aggregatum*, avec une souche peu efficace, *G. intraradices* (Guissou *et al.*, 1998 ; Bâ *et al.*, 2000). La dépendance mycorhizienne a varié de 0 % à 77 %. Elle a d'ailleurs été plus marquée avec *G. aggregatum* (fig. 3). En accord avec les travaux de Habte et Manjunath (1991), nous avons procédé à un classement des arbres fruitiers considérés dans notre étude en fonction de leur dépendance mycorhizienne vis-à-vis de *G. aggregatum* (tabl. 1). Pour l'espèce *A. africana*, qui ne présente aucune dépendance, l'inoculation a eu un effet dépressif sur la croissance. L'hypothèse explicative serait qu'une partie des photosynthétats de la plante est alors détournée à son détriment par le champignon au contact des racines (Plenchette, 1991). Globalement, *Z. mauritiana* s'est révélée être l'espèce fruitière répondant le mieux à la mycorhization, quel que soit le champignon inoculé (fig. 3). Ces résultats permettent, de conforter le choix du jujubier utilisé comme plante modèle dans l'étude des interactions entre arbres fruitiers et microorganismes intervenant dans le cycle du phosphore.

## Fertilisation des jujubiers mycorhizés avec des phosphates naturels

Les sols ouest-africains sont structurellement carencés en phosphore biodisponible (Piéri, 1989). Cette faible disponibilité du phosphore limite considérablement la nutrition phosphatée des plantes et donc la productivité agricole et forestière. Les réserves en phosphore de ces sols ne sont plus renouvelées, car les engrais chimiques sont difficilement accessibles aux producteurs et le recyclage de la matière organique, même lorsqu'elle est disponible, ne suffit pas à remédier à cette carence. Dans ce contexte de baisse constante de la fertilité des sols, l'utilisation des phosphates naturels connaît un regain d'intérêt en Afrique de l'Ouest. Des opérations de phosphatage de fond à grande échelle ont été conduites en milieu paysan pour reconstituer les réserves en phosphore des sols agricoles (Snrech, 1996). Cette forme de phosphate est cependant peu disponible dans les sols à pH faiblement acide, voire neutre, très répandus en Afrique de l'Ouest (Truong *et al.*, 1977 ; Bâ *et al.*, 1996). C'est pourquoi nous avons envisagé d'utiliser des champignons mycorhiziens à arbuscules pour mobiliser, au profit du jujubier, le phosphore de différents phosphates naturels d'Afrique de l'Ouest. Le phosphate naturel du Burkina Faso (phosphate de Kodjari à 12,5 % de phosphore total) est réputé peu réactif, même dans les sols acides (Truong *et al.*, 1977).



Nous avons montré que, dans un sol faiblement acide, une partie du phosphore libéré de ce phosphate naturel est absorbée par les jujubiers mycorhizés sans incidence sur la croissance de ces derniers (Guissou *et al.*, 1998, 2000). On peut supposer que les jujubiers mycorhizés feraient une consommation de luxe du phosphore biodisponible. Nous avons comparé l'efficacité du phosphate naturel du Burkina Faso à celui du Mali (phosphate de Tilemsi à 15 % de phosphore total) et du Sénégal (phosphate de Taïba à 12,2 % de phosphore total) en utilisant le triple superphosphate à 23 % de phosphate soluble comme engrais de référence (tabl. 2). Il est apparu que, en l'absence de mycorhizes, la croissance des jujubiers était faible et cela quel qu'ait été le phosphate naturel utilisé. Le jujubier se confirme donc être hautement dépendant des mycorhizes. Lorsqu'ils sont mycorhizés, les jujubiers assimilent mieux le phosphore fourni par les différents phosphates. Cependant, le phosphate naturel du Mali a été le seul parmi les engrais naturels utilisés à avoir un effet bénéfique sur la croissance des jujubiers mycorhizés. Cet effet a alors été comparable à celui du triple superphosphate apporté à des jujubiers non inoculés. Par ailleurs, la biomasse des jujubiers mycorhizés s'est révélée fortement stimulée par le triple superphosphate, en dépit de l'effet dépressif de cet engrais sur l'intensité de la mycorhization. Les jujubiers mycorhizés ont donc une grande aptitude à utiliser les engrais phosphatés. L'efficacité du phosphate naturel du Mali sur la croissance du jujubier a justifié que différentes doses de cet engrais soient testées vis-à-vis de la croissance de plants mycorhizés ou non, l'engrais de référence utilisé étant du triple superphosphate (tabl. 3). Chez les jujubiers non mycorhizés, seuls les apports de différentes doses de triple superphosphate ont eu un effet significatif. Chez les jujubiers mycorhizés, la plus forte dose de phosphore testée (amendement de 125 kg P ha<sup>-1</sup>) a provoqué la



Figure 4.  
Jujubiers inoculés avec *Glomus aggregatum* (Ga)  
et fertilisés avec du phosphate naturel provenant du Mali (MP).

meilleure croissance des plants, quelle qu'ait été l'origine du phosphore appliqué. Cependant, l'assimilation du phosphore dans les tiges et les feuilles a été meilleure avec le triple superphosphate. L'intensité de mycorhization des plants a été comparable, quelle que soit la dose de phosphate naturel utilisée, alors qu'elle a significativement diminué avec l'augmentation des doses de triple superphosphate. Du fait de ces résultats et pour des raisons de coût, il peut être conseillé de fertiliser les jujubiers mycorhizés en pépinière avec des phosphates naturels plutôt qu'avec du triple superphosphate, bien que ce dernier engrais ait des effets positifs avec ou sans inoculation.

## Mycorhization des jujubiers en pépinière et au champ

Afin d'accélérer la croissance initiale des jeunes plants de jujubier et d'augmenter la production fourragère et fruitière de l'espèce lorsqu'elle est exploitée, il serait souhaitable de transférer la mycorhization contrôlée du jujubier dans des systèmes forestiers (vergers de fruitiers) et agroforestiers (haies vives, banques fourragères). Dans les conditions habituelles de pépinières (substrat non stérilisé) renfermant une microflore fongique native, l'inoculation des plants par le champignon *G. aggregatum* a, en général, un effet bénéfique sur la biomasse totale des jujubiers (tabl. 4). Cela suggérerait que la souche alors introduite serait compétitive vis-à-vis des champignons mycorhiziens à arbuscules natifs des substrats de pépinières. Par ailleurs, il apparaît également que la réponse des jujubiers à l'inoculation différerait selon la provenance des jujubiers. Ce sont ceux de Gola (Thaïlande) qui répondraient le mieux à l'inoculation, alors que ceux de Bamako (Mali) y seraient le moins sensibles. Ainsi, des jujubiers provenant de Gola, transplantés dans la station de recherche de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra) à Bandia (sud du Bassin arachidier, Sénégal), ont disparu au bout de 5 mois lorsque les plants n'avaient pas été inoculés, alors que, pour les plants inoculés, le taux de survie était de 80 % (comm. pers.).

Une expérimentation destinée à évaluer l'influence d'une inoculation avec *G. aggregatum* sur la croissance du jujubier en plantation a été réalisée dans le cadre d'une collaboration entre l'Isra, la Direction des eaux et forêts, de la chasse et de la conservation des sols (DEFCCS), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et le Projet de reboisement villageois dans le nord-ouest du Bassin arachidier (Previnoba). Cet essai de mycorhization contrôlée de l'espèce a été mis en place dans un champ de la localité de Colobane Thiombane (Département de Tivaouane, Sénégal). Après 4 mois de croissance en pépinière, il a été constaté que l'inoculation avait stimulé la biomasse totale du jujubier d'un facteur multiplicateur de 1,9 (tabl. 4).

Après 20 mois en plantation, les jujubiers inoculés présentaient une hauteur et un diamètre au collet significativement améliorés par rapport aux plants non inoculés (tabl. 5).

Tableau 4.  
Effet de la mycorhization contrôlée sur des jujubiers de différentes provenances, inoculés avec *Glomus aggregatum* et observés après 4 mois de croissance en pépinière (n = 40).

Provenance	Stérilisation du substrat	Mycorhization (%)	Augmentation de la croissance par rapport aux plants non inoculés*
Lery (Burkina Faso)	Stérilisé	Non déterminé	X 1,5
Bamako (Mali)	Non stérilisé	Non déterminé	X 1,2
Keur Serigne Touba (Sénégal)	Non stérilisé	50	X 1,9
Gola (Thaïlande)	Non stérilisé	55	X 3

\* Résultats significatifs selon la méthode de Newman et Keuls au seuil de P < 5 %.

Tableau 5.  
Effet de la mycorhization contrôlée sur des jujubiers (provenant de Keur Serigne Touba, Sénégal) inoculés avec *Glomus aggregatum*, observés 20 mois après leur mise en place en plantation (n = 60).

État des jujubiers	Hauteur de la tige principale (m)	Diamètre au collet (cm)
Inoculé	1,55 a	2,8 a
Non inoculé	1,04 b	1,5 b

Dans chacune des colonnes, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes selon la méthode de Newman et Keuls au seuil de 5 %.

## Conclusion

La mycorhization contrôlée et la fertilisation phosphatée avec des phosphates naturels sont des techniques efficaces pour stimuler la croissance et la nutrition phosphatée des jujubiers en pépinière et au champ. Malgré les résultats encourageants obtenus au champ, ces techniques devront être éprouvées dans d'autres sites forestiers afin d'évaluer leurs effets sur la production fruitière et fourragère des jujubiers. Elles pourront ensuite être prises en compte dans la stratégie de domestication de *Z. mauritania*. Les recherches effectuées sur l'efficacité de la mycorhization et de l'utilisation des phosphates naturels gagneront à être complétées par la mise en œuvre de méthodes d'amélioration du matériel végétal et de multiplication végétative horticole et *in vitro*. Conjointement, l'introduction de variétés productives provenant d'Asie du

Sud-Est devra être entreprise (*Projet ligneux...*, 1997). Un autre volet d'étude touchant la domestication du jujubier est lié à sa grande sensibilité aux nématodes phytoparasites *Meloidogyne javanica* qui pourrait en faire un réservoir du pathogène (*Projet ligneux...*, 1997). Cette sensibilité aux nématodes à galles pose des problèmes pour l'utilisation de cet arbre fruitier dans les systèmes agroforestiers. Le rôle antagoniste de champignons mycorrhiziens à arbuscules sur *M. javanica* déjà mis en évidence par ailleurs (Duponnois et Cadet, 1994) devra être vérifié dans le cas de la culture du jujubier.

## Références

- Bâ A.M., Bazié M., Guissou T.  
Effet du phosphate naturel de Kodjari sur la croissance et la nutrition minérale de *Faidherbia albida* Del. en présence ou non de mycorrhizes à vésicules et à arbuscules, in : Cirad-Forêt (Éd.), Les parcs à *Faidherbia*, Cah. Scientif. 12 (1996) 237–244.
- Bâ A.M., Dalpé Y., Guissou T.  
Les glomales d'*Acacia holosericea* A. Cunn. ex G. Don. Et d'*Acacia mangium* Willd. : diversité et abondance relative des champignons mycorrhiziens à arbuscules dans deux types de sols de la zone nord et sud soudanienne du Burkina Faso, Bois For. Trop. 250 (1996) 5–18.
- Bâ A.M., Duponnois R., Danthu P., Diallo I., Guissou T., Sanon K.B., Sacko O., Plenchette C.  
Utilisation des phosphates naturels par des jujubiers mycorrhizés, in : ISSS (Éd.), Résumé du 16e congrès mondial de Sciences du sol, 20–26 août, Montpellier, France, 1998, p. 21.
- Bâ A.M., Guissou T.  
Rock phosphate and mycorrhizas effects on growth and nutrient uptake of *Faidherbia albida* (Del.) in an alkaline sandy soil, Agroforest. Syst. 34 (1996) 129–137.
- Bâ A.M., Guissou T., Duponnois R., Danthu P., Konde S., Baba V., Sacko O., Sidibé D., Plenchette C.  
Controlled mycorrhization of jujubes tree (*Zizyphus mauritiana* Lam.) to increase the productivity of plantations in West Africa, in : TSBF (Éd.), Opportunities and challenges for African agriculture, Nairobi, Kenya, 1999, p. 21.
- Bâ A.M., Plenchette C., Danthu P., Duponnois R., Guissou T.  
Functional compatibility of arbuscular mycorrhizae with thirteen tropical fruit trees in Senegal, Agroforest. Syst. 95 (2000) 95–105.
- Bajwa G.S., Sandhu H.S., Bal J.S.  
Effect of pruning severity on growth and bearing of ber, Indian J. Hortic. 22 (1988) 203–206.
- Bonkougou E.G., Djimde M., Ayuk E.T., Zoungrana I., Tchoundjeu Z.  
Taking stock of agroforestry in the sahel-harvesting results for the future, in : Icrat (Ed.), End of phase report 1989–1996, Nairobi, Kenya, 1998, pp.1–58.
- Dalpé Y., Diop T., Plenchette C., Gueye M.  
Biodiversity of glomales with soil depth under *Faidherbia albida* in Senegal, Mycorrhiza (2001), sous presse. A. Bâ et al. 268 Fruits, vol. 56 (4)
- Diallo A.T., Samb P.I., Ducouso M.  
Arbuscular mycorrhizal fungi in the semi-arid areas of Senegal, Euro. J. Soil Biol. 35 (2000) 65–75.
- Dianou D., Bâ A.M.  
Réponse de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. à l'inoculation de rhizobactéries et de champignon mycorrhizien en présence de phosphate naturel, Ann. Univ. Ouagadougou série B Vol. VII (1999) 107–122.
- Depommier D.  
*Zizyphus mauritiana* Lam., culture et utilisation en pays Kapsiki (Nord- Cameroun), Bois For. Trop. 218 (1988) 57–63.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Duponnois R., Cadet P.  
Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. on growth and nitrogen fixation of *Acacia*, Afro-Asian J. Nematol. 4 (1994) 228–233.
- Garbaye J.  
Utilisation des mycorhizes en sylviculture, in : Lavoisier (Éd.), Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées, Paris, France, 1991, pp. 197–248.
- Goussou T., Bâ A.M., Ouadba J.M., Guinko S., Duponnois R.  
Responses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. and *Zizyphus mauritiana* Lam. to arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus deficient soil, Biol. Fert. Soils 26 (1998) 194–198.
- Goussou T., Bâ A.M., Guinko S., Duponnois R., Plenchette C.  
Influence des phosphates naturels et des mycorhizes à vésicules et à arbuscules sur la croissance et la nutrition minérale de *Zizyphus mauritiana* Lam. Dans un sol à pH alcalin, Ann. Sci. For. 55 (1998) 925–931.
- Goussou T., Bâ A.M., Guinko S., Plenchette C., Duponnois R.  
Mobilisation des phosphates naturels de Kodjari par des jujubiers (*Zizyphus mauritiana* Lam.) mycorhizés dans un sol acidifié avec de la tourbe, Fruits 55 (2000) 187–194.
- Habte M., Manjunath A.  
Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species, Mycorrhiza 1 (1991) 3–12.
- Leakey R.R.B.  
Potential for novel food products from agroforestry trees: a review, Food Chem. 66 (1999) 1–14.
- Leakey R.R.B., Simons A.J.  
The domestication and commercialization of indigenous trees in agroforestry for the alleviation of poverty, Agroforest. Syst. 38 (1998) 165–176.
- Leakey R.R.B., Tomich T.P.  
Domestication of tropical trees: from biology to economics and policy, in : Buck L.E., Lassoie J.P., Fernandes E.C.M. (Éd.), Agroforestry in sustainable agriculture systems, New York, USA, 1999, pp. 319–338.
- Okafor J.-C.  
Amélioration des essences forestières donnant des produits comestibles, Unasyuva 165 (1991) 17–23.
- Piéri C.  
Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente années de recherche et de développement au Sud du Sahara, Ministère de la Coopération et Cirad, Paris, France, 1989.
- Plenchette C.  
Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture, in : Lavoisier (Éd.), Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées, Paris, France, 1991, 131–179.
- Plenchette C., Fortin J.A., Furlan V.  
Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility, I : mycorrhizal dependency under field conditions, Plant Soil 70 (1983) 199–209.
- Projet ligneux fruitiers (Sénégal)*  
in : Isra/CRDI (Éd.), Rapport final d'exécution scientifique et technique (1991–1997), Direction des Productions forestières (DRPF), Isra/CRDI, Sénégal, 1997, 83 p.
- Smith S.E., Read D.J.  
Mycorrhizal symbiosis, Academic Press, second edition, Oxford, UK, 1997.
- Snrech S.  
Les phosphates rocheux au secours de l'agriculture africaine ? Club du Sahel, Bull. Info. 15 (1996) 26–29.
- Truong B., Pichot J., Beunard P.  
Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture, Agron. Trop. 33 (1977) 136–145.

# La lutte contre les aléas climatiques au Burkina Faso Acquis et défis de l'agro-écologie : le cas de la Région Nord

RENÉ BILLAZ  
Agronome, vice-président d'AVSF

## Introduction

La Région Nord du Burkina Faso a donné lieu à de nombreux travaux, dont j'ai tenté de rendre compte dans un texte récent : « Lutte contre l'aridité climatique au Burkina Faso ; quarante ans de recherche et d'appui au développement ; bilan et perspectives ». En cette année 2012 où la communauté internationale focalise sa réflexion sur l'eau, il me semble utile de revenir de façon plus détaillée et plus quantitative sur le défi que représente la lutte contre les aléas climatiques, pluviométriques en particulier. Je me place pour ce faire dans une approche délibérément agro-écologique, en questionnant nos connaissances sur l'optimisation de l'usage de l'eau : l'eau pour les hommes, leurs troupeaux, leurs cultures, ainsi que le couvert végétal des espaces non cultivables. C'est ce dernier domaine qui est actuellement le plus menacé par la désertification ; c'est aussi celui où on manque le plus de connaissances et où les pratiques (la gestion) laissent le plus à désirer. Le présent texte est donc aussi un plaidoyer pour la poursuite tenace et sereine de travaux associant paysans, praticiens et chercheurs.

Pourquoi l'agro-écologie ?

D'abord par défaut, car on pouvait conclure au début des années 1980, suite aux épisodes de grande sécheresse, que, dans le contexte de l'ex-Yatenga (zone semi-aride à forte densité de population et forte pression du bétail sur les ressources naturelles), les limites des recommandations de la recherche agronomique (labour, fertilisation minérale d'appoint, fertilisation organique lourde) étaient atteintes.



## Une pluviométrie très aléatoire

On connaît l'extrême variabilité interannuelle des hauteurs d'eau tombées annuellement, résumées dans le graphique ci-dessous, qui illustre l'imprévisibilité de chaque nouvelle campagne.

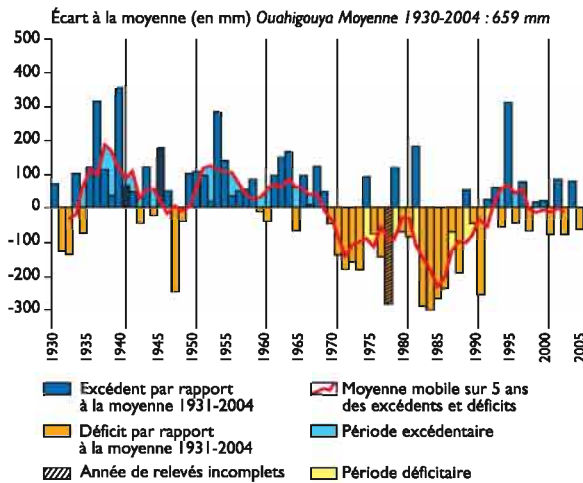


Figure 2.

Évolution de la pluviométrie : tendance 1930-2004.

Source : Atlas Jeune Afrique du Burkina Faso, 2005, 1<sup>re</sup> édition

Ces moyennes ne rendent toutefois pas compte de la variabilité des pluies au cours de chaque saison pluvieuse, qui peut avoir des conséquences désastreuses sur les cultures même quand le total annuel est satisfaisant, en cas soit de pluies tardives (semis en juillet), soit d'arrêt précoce (avant la maturation des épis, p. ex. courant septembre). Francis Forest (1984), du Cirad (l'Irat à l'époque) a réalisé en 1984 une approche probabiliste de la satisfaction des besoins en eau du mil en fonction des premières pluies de la saison : il concluait que c'est entre le 25 juin et le 1<sup>er</sup> juillet qu'on a 8 chances sur 10 de disposer de deux à trois jours de pluie conduisant à un indice élevé de satisfaction des besoins en eau. Par contre, dès le 25 juillet, il est très peu probable qu'il le soit. La « fenêtre de tir » pour réussir un semis est donc très étroite : deux à trois semaines au maximum entre la mi-juin et la mi-juillet.

## Des ressources naturelles fortement dégradées

Cette dégradation est déjà ancienne : J.-Y. Marchal (1983) soulignait dès 1983 les nombreuses manifestations locales de la dégradation des ressources naturelles, ainsi que sa progression, en comparant des photos aériennes prises à dix ans d'intervalle. Actuellement, la végétation naturelle, herbacée et arbustive, est en voie de dispari-



tion : dans des zones fortement affectées, la végétation ligneuse couvre moins de 5 % de la superficie des sols très fortement dégradés, 5 à 20 % pour les sols fortement dégradés. Ailleurs, dans les zones moins dégradées, les proportions de sols dégradés croissent dangereusement, comme le montre une étude conduite récemment dans la province du Zondoma par le projet PDCL/SAZ (2006).

On assiste donc à un véritable processus de désertification, dont les causes sont bien connues.

Les besoins en bois de chauffe des familles paysannes et urbaines : J.-Y Marchal suggère que la dégradation du couvert végétal au cours de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle pourrait avoir été provoquée par une intense activité métallurgique (nombreux forgerons). Il cite différentes études, les estime à 1,4 stère/personne/an (dont les bois de service) en milieu rural et à 2 en ville (Ouahigouya). À l'époque, il estimait qu'au Yatenga la ressource ne couvrait que 40 % des besoins.

La pression exponentielle du bétail sur les ressources fourragères, caractérisable par le graphique ci-dessous.

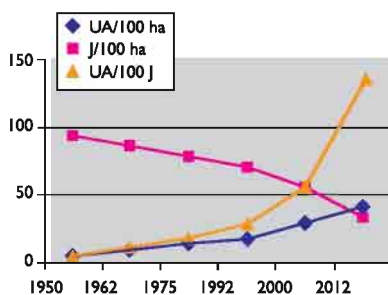


Figure 3.  
Pression du bétail sur la jachère.

Le graphique illustre l'évolution exponentielle de la pression du bétail (UA/100 ha de jachères) en fonction de la croissance démographique des troupeaux de ruminants (2 % par an : UA/100 ha totaux) et de la réduction des superficies en jachère (C'est-à-dire des sols non cultivés) résultant de la croissance démographique humaine (3 % par an), calculée sur la base d'un ha cultivé par actif par an.

Qu'en est-il actuellement ? Les statistiques officielles (cf. annexe B) permettent de calculer, par province, la superficie non cultivée (zones de parcours du bétail) disponible par UBT (Unité de Bétail Tropical, voir annexe B). Pour la Région Nord, en 2008, on arrive aux chiffres suivants : Loroum : 2,1 ; Yatenga : 2,7 ; Zondoma : 3,3 ; Passoré : 3,0.

Ces valeurs (moins de 3 ha par UBT) sont très alarmantes, dans la mesure où les zootechniciens considèrent qu'il faut environ 15 ha de végétation naturelle de ces savanes semi-arides pour alimenter une UBT. On est donc en régime de surpâturage généralisé.

Cette disparition progressive de la végétation herbacée et arborée cause dès à présent des catastrophes écologiques locales (voir photos de ravinements) et condamne toute forme d'élevage productif sur la base des seules ressources naturelles, ce qui a été la pratique traditionnelle.

En outre, les sols se dégradent rapidement : cette dégradation se manifeste entre autres par la formation d'une croûte superficielle imperméable aux pluies, qui est attribuée à la baisse tendancielle des teneurs en matière organique des sols.



*Zippelé (sol dégradé, en mooré) observé deux ans après la dernière mise en culture. En l'absence de cultures, les zippelés se forment rapidement.*

### **Des modelés géo-pédologiques à risques érosifs souvent élevés**

P. Dugué (1989) rappelle que la morphologie de la Région est marquée par quatre types de modelés :

- le système dunaire, caractérisé par des plaines sableuses mollement ondulées, formées sur les sables, grès et argiles du Continental terminal (à la frontière du Mali). Il ne représente que 6 % de l'espace régional (sans compter le Passoré, intégré plus tard à la région Nord) ;
- des archipels de collines ceinturées de tables cuirassées ; elles sont organisées en chapelets sur une ligne NNE-SSW. Des tables cuirassées plus récentes les jouxtent, en créant des dépressions de petite surface. Ce type de modelé représente 13 % de la Région (sans compter le Passoré, intégré plus tard à la Région Nord) ;
- les dômes éventrés, parfois associés aux tables cuirassées. Ce modelé, caractéristique du Plateau Mossi et du Centre-Sud et Sud de la Région, représente 43 % de l'espace régional (sans compter le Passoré, intégré plus tard à la Région Nord) ;
- les pénéplaines : le relief cuirassé s'y estompe ; il est peu marqué mais forme le sommet aplati des topo-séquences, qui sont longues. On les trouve principalement dans le Sud-Ouest, en allant vers la plaine du Sourou. Ce type de modelé couvre 38 % de la région (sans compter le Passoré, intégré plus tard à la Région Nord).

La carte ci-dessous rend compte des principales composantes géologiques et on y a représenté schématiquement les limites de la Région.

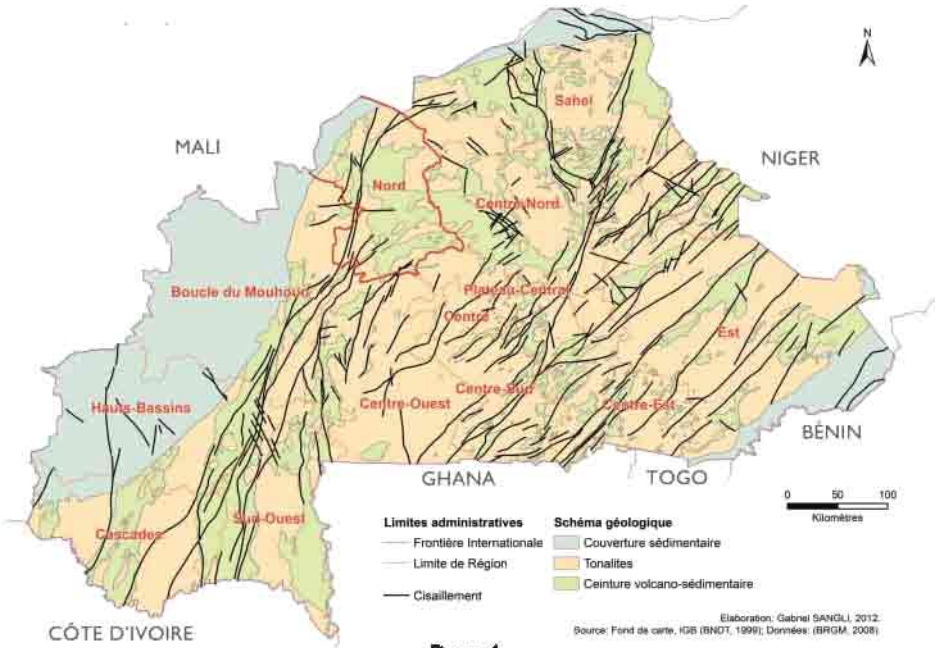


Figure 4.  
Carte géologique simplifiée du Burkina Faso.

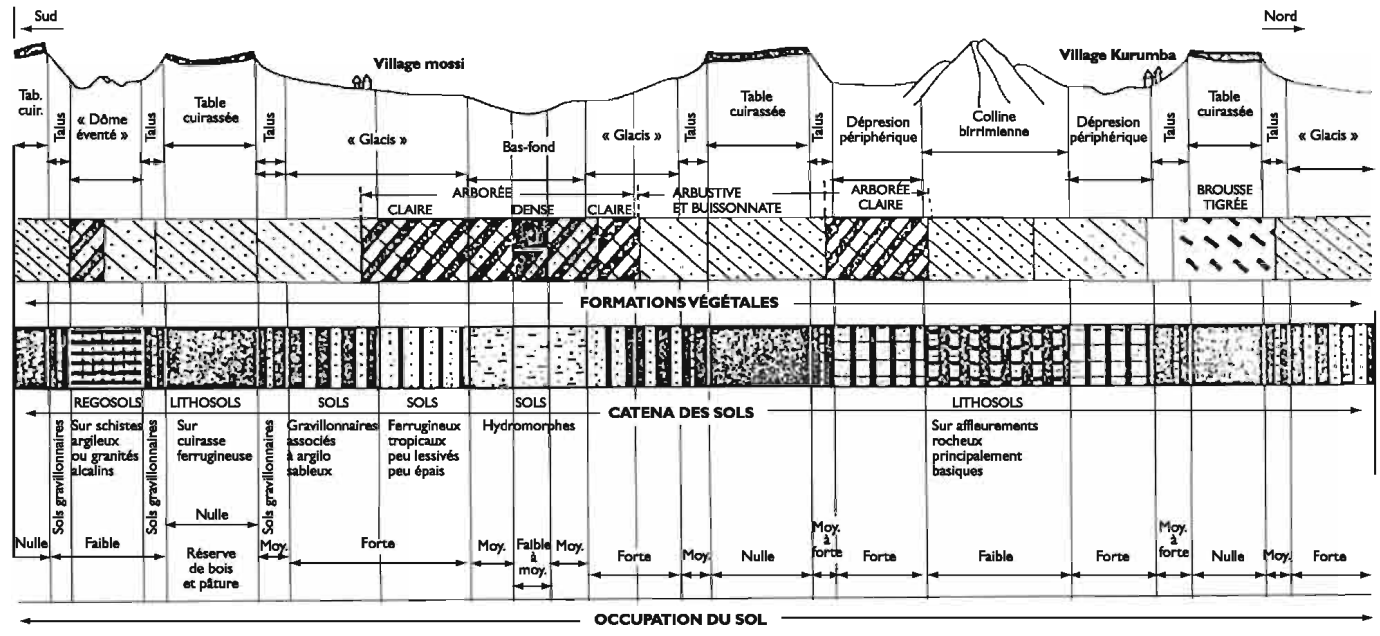
Les pentes associées aux modelés de collines et de dômes éventrés présentent un risque élevé d'érosion dès que le couvert végétal disparaît, ce qui est le cas général. La gestion des ressources naturelles y mérite donc une attention toute particulière, d'autant que pour des raisons historiques ce sont les zones les plus densément peuplées.

Quelle est l'occupation de l'espace dans ces modelés à risques ? C'est ce que présente le schéma suivant (fig. 5).

NB : les échelles verticales et horizontales ne sont pas les mêmes. Les glacis s'étendent sur plusieurs centaines de mètres (de l'ordre de un à trois kilomètres), alors que les collines et les tables cuirassées ne les dominent que de quelques dizaines de mètres.

Ce schéma met clairement en les faits suivants :

- les paysans ont établi leurs villages sur les glacis, et que c'est là qu'ils cultivent ;
- les sols sont répartis le long des topo-séquences depuis les lithosols des cuirasses jusqu'aux sols argileux plus ou moins hydromorphes des bas de pente en passant par des sols gravillonnaires et des sols ferrugineux tropicaux (ou sols ferralitiques) ; ce sont



Sources : J.Y. Marchal, 1980  
 « L'espace rural du Centre Yatenga.  
 Le complexe naturel et son utilisation agro pastorale »  
 ORSTOM Paris

Figure 5.  
 Yatenga – Approche morphopédologique. Modèle sols-végétations.  
 Associations : tableau schématique des correspondances.



ces derniers qui sont aptes aux cultures, et ce d'autant plus qu'ils sont plus profonds. Comme nous l'avons évoqué dans l'annexe B, il faut que les racines puissent disposer d'une réserve utile racinaire (RUR) de 120 mm pour que les cultures supportent sans dommage un épisode non pluvieux de trois semaines. Or, selon leur texture, plus ou moins sableuse, une telle RUR n'est atteinte qu'au-delà d'un mètre de profondeur. La profondeur des sols est donc une donnée essentielle (ainsi que la nature des matériaux sous-jacents : cuirasse, altérites des roches sous-jacentes,...); or elle n'est documentée qu'à des échelles non pertinentes : les observations de terrain sont indispensables.

– la végétation naturelle n'est dense qu'à proximité des talwegs ; en hauts de pentes, elle est très clairsemée, et nous avons vu qu'elle tend à se dégrader rapidement.

En somme, dans ces types de modelés, qui couvrent plus de la moitié de la Région :

- une grande partie de l'espace n'est ni cultivé ni cultivable. C'est ce que montrent par ailleurs les statistiques officielles (voir l'annexe B) ;
- même modestes, les pentes des glacis les soumettent à un risque élevé de ruissellement ;
- peu, mal ou non végétalisés, les « reliefs » qui dominent les glacis sont soumis à un risque érosif considérable, avec des conséquences éventuellement dramatiques pour les hommes, leurs troupeaux et leurs cultures.

Les photos ci-dessous témoignent de la sévérité des formes d'érosion, en haut et en bas de pente.



*Ravines de haut de pente.*



*Ravines de bas de pente.  
Dégâts des eaux dans un bas-fond.*

## **Des paysans pauvres et mal nourris, mais en résistance**

### **UNE DENSITÉ DE POPULATION ÉLEVÉE**

En 2006, la population de la Région s'élevait à 1 185 796 habitants (RGP), rurale à 85,8 %, soit environ 160 000 ménages ruraux répartis en quatre provinces – Loroum, Yatenga, Zondoma et Passoré – et 315 villages.

Les provinces du Passoré et du Yatenga sont deux à trois fois plus peuplées que les deux autres. En termes de densités de population rurale (nb. d'habitants/km<sup>2</sup>), les différences sont également assez marquées : la moyenne régionale étant de 63, le Passoré et le Zondoma ont les valeurs les plus élevées (respectivement 78 et 81),

Tableau 1.  
Population par province en 2006.

	Urbains		Ruraux		Total	
	Ménages	Habitants	Ménages	Habitants	Ménages	Habitants
Loroum	3 043	19 131	19 366	123 722	22 409	142 853
Passore	4 392	22 685	45 180	300 537	49 572	323 222
Yatenga	14 157	73 153	72 704	480 011	86 861	553 164
Zonдома	4 003	24 616	20 289	141 941	24 292	166 557
Région Nord	25 595	139 585	157 539	1 046 211	183 134	1 185 796

celle du Yatenga étant de 69. Ce sont les valeurs parmi les plus élevées du Burkina, alors que l'aridité climatique y est des plus sévères. Cette situation s'explique pour des raisons historiques : la création de l'empire Mossi et de sa « dépendance », le royaume du Yatenga, dès le xv<sup>e</sup> siècle (et sans doute par le caractère plus insalubre des savanes arborées humides : maladie du sommeil, onchocercose...).

Une analyse plus fine de la densité de population a été réalisée par J.-Y. Marchal : elle montre qu'à l'époque (1980), elle variait de moins de 20 au NE et au NW (le Loroum et la zone de sables dunaires du NW du Yatenga) à plus de 100 à proximité de Ouahigouya et, par taches, dans le Zonдома. Ces différences s'expliquaient également par des raisons historiques : l'expansion progressive des Mossi à partir de leur capitale Ouahigouya.

Une telle densité représente une pression très élevée sur les ressources naturelles. En effet, une valeur de 100 habitants au km<sup>2</sup> signifie que chaque habitant ne « dispose » que d'un hectare (1 km<sup>2</sup> = 100 hectares), soit, pour un ménage rural de 6,5 personnes, 6,5 ha. Or, dans ces savanes, une proportion élevée des sols n'est pas cultivable, pour des raisons diverses (déclivité, texture, profondeur). Il n'y a alors plus assez de réserve foncière de sols cultivables pour pratiquer des jachères de longue durée, mode historique de régénération des sols quand la densité est faible.

#### CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE ET MIGRATIONS

La croissance démographique de l'ex-Yatenga (l'actuelle région du Nord moins le Passoré) au cours des cent dernières années est impressionnante. J.-Y. Marchal puis P. Dugué l'ayant reconstituée de 1910 à 1985, elle peut être décrite jusqu'à 2006, ce qui conduit aux chiffres ci-dessous :

Tableau 2.  
Évolution de la population et de la densité rurale entre 1910 et 2006

	1910	1930	1960	1975	1985	1996	2006
Population*	200	300	400	530	537	684	862
Densité	16	24	32	43	44	55	70

\* en milliers. Sources P. Dugué puis RGP (1985 à 2006)

En un siècle, la population a été multipliée par quatre. Un taux de croissance absolument inconnu auparavant, qui bouleverse complètement les rapports des habitants avec la nature : fin des jachères de longue durée, collecte de bois de feu de plus en plus éloignée et incertaine, déficit croissant de ressources fourragères...

Comment les populations rurales ont-elles tenté de s'y adapter ?

(1) En premier lieu, en créant de nouveaux villages dans les espaces jusque-là innocués : selon J.-Y. Marchal, cette stratégie a été largement mise en œuvre au cours de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Ses limites sont évidentes : l'espace cultivable d'une part et la disponibilité d'eau de l'autre. C'est ce qui expliquerait les densités faibles observées au NW et au NE.

(2) En second lieu, en migrant vers le SW du pays (expansion de la zone cotonnière) et vers la Côte d'Ivoire (d'importants mouvements migratoires ont également eu lieu à l'époque coloniale, à l'occasion d'épisodes de sécheresse, mais aussi pour échapper aux contraintes administratives (corvées, déplacements...). Ces deux processus sont postérieurs aux indépendances de ces deux pays (1962) et liés aux importants investissements réalisés pour la diversification agricole (le coton dans le SW burkinabé, le café et le cacao en Côte d'Ivoire) et, dans ce dernier pays, pour les infrastructures urbaines, routières et portuaires. P. Dugué, s'interrogeant sur les causes de la stagnation de la progression démographique entre 1975 et 1985, l'attribuait à des mouvements migratoires causés par les épisodes de grande sécheresse entre 1970 et 1975 puis entre 1982 et 1985 (voir graphique « Évolution de la pluviométrie »). À l'époque (1980), j'estimais pour ma part (Billaz *et al.*, 1981) que dans la tranche d'âge 20-29 ans, un homme sur deux était absent des ménages ruraux. Il est probable qu'il en est encore de même actuellement, au vu de la composition des ménages ruraux en 2006, qui montre une forte prédominance féminine 3,6 femmes/3,1 hommes. Pour les valeurs par province, voir l'annexe B.

Ce déficit d'hommes a des conséquences importantes sur la capacité de travail des exploitations agricoles. Elle est compensée par l'apport de revenus monétaires, qui sont loin d'être négligeables par rapport à ceux de l'exploitation agricole. G. Ancey estimait en 1977 que les sommes rapportées par migrant étaient de l'ordre de 14 000 FCFA par an (FCFA de l'époque, donc), revenus au moins égaux à ceux de l'exploitation (hors variation d'effectif du cheptel) (Ancey, 1977). Il est probable qu'il en va de même actuellement, d'autant que l'aspiration des jeunes à l'autonomie (par rapport aux contraintes familiales liées aux travaux agricoles) les pousse à rechercher des revenus monétaires. Le cas des exploitations aurifères « sauvages » créées récemment à la suite de la hausse du métal précieux l'illustre singulièrement.

Les techniques se réclamant de l'agro-écologie sont ainsi confrontées à la question de la rémunération du travail : si les « délais de retour » sont jugés trop élevés (p. ex. dans le cas de la fabrication des composts), la concurrence d'activités rémunérées immédiatement, comme celles issues des migrations de travail, peut être dirimante.

**BILAN VIVRIER ET SITUATION NUTRITIONNELLE**

En 2001, la production céréalière par habitant rural était la suivante :

Tableau 3.  
Production céréalière disponible par habitant rural (kg) en 2001.

<b>Passoré</b>	248
<b>Zondoma</b>	137
<b>Yatenga</b>	290
<b>Loroum</b>	174

Source : Minagri/SSA pour la production 2001 ; RGP 2006 pour la population

Les agriculteurs des quatre provinces sont donc dans des situations très contrastées : dans le Zondoma, les paysans ne produisaient en 2001 pas plus de 137 kg de céréales par personne, alors que ceux du Yatenga atteignaient 290 kg. Ces chiffres traduisent des situations très différentes en termes de bilan vivrier. La norme de consommation annuelle de céréales est en effet estimée à 190 kg (MAHRH/SG/DGPISA), ce qui signifie que deux provinces étaient à l'époque déficitaires (le Zondoma et le Loroum), les deux autres étant excédentaires. Toutefois, si l'on tient compte des besoins en semences, des risques de pertes de stockage et de la nécessité de disposer de réserves pour faire face à des années fortement déficitaires (au moins une année sur quatre), on est amené à considérer que le « seuil de sécurité céréalière » se situe à 250 kg par personne. On obtient alors les situations présentées dans l'annexe B.

Elles montrent une grande variabilité interannuelle, conséquence de celle des épisodes pluviométriques :

- l'année 2004, le seuil de sécurité céréalière n'a été atteint dans aucune des quatre provinces (0,68 pour le Loroum, 0,74 pour le Passoré) ; cette année-là, les pluies ont démarré très tardivement, et leur total a été faible (596 mm enregistrés à Ouahigouya) ;
- en 2001, où il a plu 734 mm et en 2003 où il a plu 730 mm, le Passoré et le Yatenga ont eu des bilans céréaliers satisfaisants (0,99 et 1,16), ce qui n'a pas été le cas du Loroum (0,7) et du Zondoma (0,55).

Aucune des quatre provinces n'est donc à l'abri d'une année critique en termes de sécurité céréalière, et par ailleurs deux sont en déficit chronique : le Zondoma et le Loroum.

Par ailleurs, la situation nutritionnelle mesurée par les enquêtes du ministère de la Santé est très préoccupante pour l'ensemble des zones rurales du pays. Par exemple, la malnutrition protéinique et énergétique (MPE) est omniprésente : elle affecte particulièrement les enfants en âge préscolaire. Elle a en outre tendance à croître : sous sa forme chronique, elle est passée de 29 à 37 % de cette tranche d'âge entre 1993 et 1998, et de 11 à 17 % sous sa forme sévère. Et l'insuffisance pondérale affecte un tiers des jeunes : elle a également tendance à s'accroître. Sous sa forme chronique, elle est passée de 30 à 34 % de cette tranche d'âge entre 1993 et 1998, et de 8 à 12 % sous sa forme sévère (EDS 98/99).



Les familles paysannes de la Région, adultes et jeunes compris, souffrent donc de déficits céréaliers et nutritionnels chroniques.

### **L'ORGANISATION SOCIALE**

Elle est marquée par la superposition de trois « modèles ».

Celui des origines ethniques et précoloniales : historiquement, l'expansion mossi à partir du Sud a repoussé les Dogon vers la frontière du Mali, où ils ne représentent plus que 0,5 % de la population. C'est également de cas des Samo, au sud-ouest. Une autre ethnie endogène, antérieure aux Mossi, les Fulsé (ou Kurumba) a été dominée puis assimilée progressivement : ils sont donc restés sur place. Ils représenteraient moins de 20 % de la population. L'arrivée par le nord des Peulhs-Fulbé (et leurs anciens esclaves Rimaïbé) et des Silmi-Moosé s'est traduite par leur dissémination au sein des terroirs, dans le cadre de rapports d'échanges de services spécifiques avec les autres villageois. Ils représentent respectivement 9 et 5 % de la population. Avec 67 %, les Mossi sont donc largement majoritaires, et de surcroît ils dominent l'organisation socio-politique. À la campagne, les structures sociales sont donc marquées par la prééminence des hiérarchies héritées du royaume mossi du Yatenga et par les rapports de voisinage des Mossi avec les Fulsé-Kurumba, les Fulbé et les Silmi-Moosé.

Celui des structures de la gouvernance démocratique : depuis la fin du siècle dernier, le Burkina Faso a créé des communes rurales, dont les maires et les conseillers municipaux sont élus. Il y a une quarantaine de communes rurales dans la Région, soit une dizaine par province. Elles ont toutes constitué un Comité villageois de développement (CVD) doté d'attributions importantes en matière de développement rural.

Celui des organisations professionnelles paysannes : elles sont très nombreuses, car on peut en trouver plusieurs par village (par quartier, par genre...). À partir des années 1980, une organisation faîtière régionale a pris une grande importance, celle des groupements NAAM, dont le siège est à Ouahigouya : elles ont eu un rôle décisif dans la mise en œuvre des actions de lutte contre la sécheresse, avec l'appui technique et financier de l'ONG « 6S ».

L'articulation entre ces trois formes de légitimité et de pouvoir est un exercice délicat, particulièrement pour ce qui relève des questions foncières et des « biens publics », dont l'accès à l'eau, à la santé... Les services de l'État et les ONG doivent trouver des modalités spécifiques de collaboration avec les unes et les autres. Dans un passé récent, les pratiques du projet national de gestion des terroirs (PNGT) et du projet régional PDRD, basé à Yako, méritent certainement un intérêt particulier.

### **RÉSISTANCES PAYSANNES**

Face aux crises vivrières et nutritionnelles d'une part, fourragères de l'autre, écologiques enfin (les sols et la végétation), accentuées par les deux épisodes de sécheresses successives des années 1970, les paysans de la Région, avec l'appui des services de l'État et de plusieurs ONG, ont fait preuve d'un dynamisme remarquable, en mettant en œuvre des pratiques novatrices très exigeantes en temps de travail et en efforts

physiques. Il s'agit d'une part de la régénération des sols dégradés par la pratique du zaï et d'autre part de la lutte contre le ruissellement par la réalisation de cordons pierreux en aval des parcelles cultivées. Plus précisément, entre 1980 et 1985, des paysans et des ONG ont mis au point et testé des zaï améliorés et des cordons pierreux sur courbes de niveau, et après 1985 ces techniques ont été de plus en plus promues par des projets.

#### **Amélioration des techniques de semis : le zaï**

Changement radical des pratiques conventionnelles des pratiques de semis, le zaï a pris une importance considérable depuis 1980. Rappelons en les principales caractéristiques (voir encadré ci-dessous).

#### **Le « zaï »**

Cette pratique consiste à la fois à favoriser le stockage de l'eau (contrôle du ruissellement) en semant dans une cuvette de faible profondeur – quelques décimètres – enrichie en matières organiques d'origine locale (compost constitué à partir de pailles, de déjections), mesurant les effets des zaï sur le rendement du sorgho dans une station de recherche de l'INERA, ont observé une augmentation très sensible des rendements, qui passaient de 70 à 300 kg/ha environ (moyenne de deux années). Roose (Roose et al, 1995), qui a étudié les effets du zaï au Burkina Faso et au Nord-Cameroun, a également mesuré des accroissements spectaculaires de rendement du sorgho (de 63 à 976 kg/ha en année humide, de 22 à 550 en année plus sèche) résultant d'effets combinés de la rétention d'eau, du compostage et d'une fumure minérale d'appoint, et a permis de préciser les limites de pluviométrie à l'intérieur desquelles le zaï constitue une alternative adaptée. La mise en œuvre de ces techniques exige certes beaucoup de travail – là encore en saison sèche – mais elle se satisfait de ressources disponibles dans l'exploitation elle-même, contrairement aux cordons pierreux.



*Trous préparés pour le zaï manuel.  
Ici à une densité supérieure à celle des semis de mil ou sorgho.*

Pour souligner les exigences de ces modalités de semis, notons :

– l'intensité en travail : 300 heures pour un hectare dont une grande partie en saison sèche et chaude, dans des conditions très pénibles, et la densité de poquets est de l'ordre de 25 000 à l'hectare. (Kaboré WTT [2005] a relevé 62 jours à Ziga). Comparés aux semis en traction animale, ces chiffres sont vingt fois plus élevés. Que dire alors de la comparaison avec des semis motorisés ? Une telle intensité de travail relève de comportements de survie ;

– les besoins en fumure organique : 2 à 3 tonnes par hectare selon Roose, 8 à 13 selon Kaboré. Le développement du zaï n'a été possible que grâce à la récupération systématique des pailles de céréales et légumineuses et à une stabulation partielle du bétail, premières étapes de l'intégration de l'agriculture et de l'élevage.

### Zaï et djengo

Le djengo est une alternative au zaï : selon Kaboré WTT, le creusement des trous est réalisé avec un outil de manche plus long, le paysan creuse en position debout, et de surcroît en début de saison des pluies. C'est donc une modalité sensiblement moins fatigante. Il s'applique principalement aux sols sableux, ce qui permet un travail plus rapide : même avec une densité de poquets (de l'ordre de 40 000) supérieure à celle du zaï (qui est de 25 000), la préparation d'un hectare ne nécessite qu'une vingtaine de jours, soit quarante de moins environ. Selon les cas, il y a ou non adjonction de matière organique. Toujours selon Kaboré, la pratique du djengo à Ziga est loin d'être anecdotique, particulièrement dans les petites exploitations limitées en fumure organique et en main-d'œuvre. Le djengo est donc une pratique simplificatrice, qui permet de gagner du temps et d'économiser de la fumure organique, mais les conditions de germination des graines sont *a priori* moins favorables (pas de récupération du ruissellement des premières pluies, volume de récupération plus faible, moindre quantité de matière organique).

Pour la majorité des agriculteurs, le zaï est d'abord une pratique de récupération des sols dégradés (les *zippelés*).

### Les cordons pierreux

La technique s'inspire des levées de terre réalisées à grands frais par le projet GERES des années 50 : elle vise à arrêter ou détourner les eaux de ruissellement des parcelles cultivées, mais il ne s'agit plus de levées de terre mais de cordons pierreux, comme le montre la photo ci-contre :



*Cordons pierreux visant à arrêter ou détourner les eaux de ruissellement des parcelles cultivées.*



Plus résistantes aux fortes « vagues » de ruissellement que les levées de terre, ces « diguettes filtrantes » ne sont pas destinées à détourner les eaux de ruissellement vers des exutoires aménagés à cet effet, mais à les freiner et, autant que possible, à les retenir. La réussite d'un cordon pierreux s'apprécie, avec le temps, à la constitution de « marches d'escaliers » du fait de l'accumulation des sédiments entraînés. Les espaces entre les pierres peuvent être comblés par les sédiments.

Les paysans bénéficient fréquemment d'appui logistique de la part de projets pour le transport des pierres, qui peut représenter plusieurs déplacements de camions sur une distance de l'ordre de la dizaine de kilomètres, voire plus (ex : les FDR I et II (1976), le PAF : 8 000 ha dans le Yatenga et le Zondoma ; le PEDI : 17 200 ha dans le Bam et le Sanmatenga entre 1986 et 2001 ; PATECORE/GTZ : 30 000 ha dans le Bam entre 1989 et 2002 ; le CES/AGP : 46 000 ha dans 3 provinces entre 1989 et 2002).

#### *La régénération naturelle assistée (RNA)*

De façon complémentaire est apparue, spontanément, la pratique de la régénération naturelle assistée (RNA) : les plantes pérennes issues de graines germant dans les trous de zaï bénéficient de conditions privilégiées et ont une croissance supérieure aux autres. Ce processus a pris une certaine ampleur dans plusieurs zones sahéliennes qui a permis, là où les situations foncières et sociales s'y prêtent, la réapparition de nombreuses plantes pérennes.



*Un exemple de RNA (à proximité de Ouahigouya) : à gauche, sans RNA, à droite, avec RNA.  
Les photos ont été prises des deux côtés d'une même route.*

Qu'observe-t-on ? Des plantes pérennes dont les graines se trouvent par hasard dans des trous de zaï y trouvent un milieu propice à leur germination puis à leur développement : les plantules peuvent alors devenir des arbres. Ce processus est susceptible de provoquer la reconstitution de la végétation arborée d'origine, avec localement des effets spectaculaires.

Il est malheureusement limité par la situation foncière d'une part et le contrôle de la vaine pâture de l'autre. Les familles descendantes des lignages fondateurs, ne cèdent l'usage d'un champ à un tiers qu'à titre précaire : elles exigent généralement que son usage soit limité aux cultures annuelles. La présence de plantes pérennes remet en cause le bail. Aussi informel soit-il, il est résilié d'office.

Il l'est aussi par la vaine pâture, beaucoup des jeunes plants étant très appréciés par le bétail : les parcelles où la RNA a réussi ont fait l'objet d'un gardiennage strict. À notre connaissance, elles sont rarement éloignées des villages.

**Bilan des pratiques de « résistance paysanne » (CES + Zaï)**

Les enquêtes menées lors d'une étude réalisée en 2007 au Burkina Faso sur un échantillon de 700 unités de production ont montré que le taux d'adoption des techniques de CES était de l'ordre de 53 %. La plupart des agriculteurs combinent plusieurs techniques. La plus fréquente est celle des cordons pierreux et des zaï. L'application de la fumure organique se généralise avec plus de 67 % des unités de production qui ont adopté la technologie.

On dispose d'informations plus détaillées avec l'étude réalisée par C. Reij et T. Thiombiano (2003 - cf. annexe C ) sur « la réhabilitation de la capacité productive des terroirs sur la partie nord du Plateau central entre 1980 et 2001 », qui a porté sur 12 villages dont trois témoins (sans CES), 226 exploitations agricoles de trois provinces (Bam, Sanmatenga et Yatenga). Elle a montré que plus de 100 000 ha ont été ainsi aménagés, dans le cadre de plusieurs projets,

Les objectifs paysans étaient clairement de capter les eaux de ruissellement, et non pas de les dévier. Leurs commentaires concluent à la supériorité des cordons pierreux sur les demi-lunes et les diguettes de terre

L'étude conclut que la CES :

- associée au zaï, a permis une amélioration sensible des rendements en céréales. Elle contribue donc à la sécurité alimentaire ;
- y compris avec une pluviométrie déficitaire : elle contribue aussi à la lutte contre les aléas climatique ;
- contribue à la réhabilitation de l'environnement, grâce à la RNA, souvent spectaculaire ;
- contribue dans plusieurs cas au rehaussement de la nappe phréatique, mais pas systématiquement ;
- sur le plan social, tend à diminuer l'exode rural, à lutter contre la pauvreté et à améliorer la condition féminine ;
- par contre, ne contribue pas à l'intensification agronomique.

Des informations plus détaillées figurent à l'annexe C.

**UN COMBAT INACHEVÉ**

Peut-on pour autant considérer que la lutte contre l'aridité a été gagnée, que les mécanismes cumulatifs du développement sont enclenchés ?

C'est l'avis de E. Botoni et C. Reij qui ont publié en 2009 une importante synthèse sur « la transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel », dont ils concluent que « le Sahel reverdit » (Botoni et Reij, 2009). Certes, c'est le cas des espaces auxquels ils se réfèrent. Mais il convient de garder en mémoire : qu'il s'agit d'espaces bénéficiant de droits fonciers non limitants et d'une capacité à éviter les effets de la vaine pâture ; que le choix des plantes pérennes est laissé à la nature (il ne peut pas être « ciblé » sur des espèces présentant un intérêt

spécifique en termes de préservation de la biodiversité) ; qu'il n'empêche pas les processus de dégradation des sols entre les arbres (observations *in situ*, comme par exemple dans le village de Renawa, à proximité de Gourcy).

Je pense pour ma part que l'extension des sols dégradés et l'aggravation de la malnutrition, dont nous avons rendu compte ci-dessus, montrent que le combat contre la désertification n'est pas encore gagné.

En fait, les très prometteuses réalisations en matière de CES ont incontestablement évité des catastrophes humanitaires et écologiques, sans atteindre toutefois les seuils de reproductibilité écologique et sociale que sont une productivité du travail agricole à 15 qq de céréales/actif/an, au lieu de 4 actuellement, et la régénération des zones de parcours, sans doute les plus dégradées des terroirs.

Il faut sans doute y voir trois limitations majeures :

- la réalisation manuelle des cordons pierreux et du zaï représente un travail physiquement pénible et lent (dans le cas du zaï, il faut compter plus de 300 heures de travail à l'hectare) ;
- les composts utilisés sont de qualité très médiocre : leur capacité à corriger les principales carences du sol ou à stimuler leur vie biologique est en fait très faible ;
- une part importante des sols d'un même terroir ne sont pas cultivables, pour des causes diverses (déclivité, texture, profondeur) et ne sont pas redevables des mêmes actions d'amélioration foncière.

Illustrons ce dernier point par la représentation, en annexe B, de deux types de topo-séquences caractéristiques des modelés de la zone centrale : Sabouna se situe à une vingtaine de kilomètres au nord de Ouahigoua, Ziga à peu près à la même distance, au sud.

Les topo-séquences illustrent la part relativement modeste des glacis sablo-argileux, les seuls susceptibles de porter des cultures céréalières (et encore sous réserve d'une profondeur suffisante, supérieure à 1 m) et la nature des espaces non cultivables (pentes, tables cuirassées, sols gravillonnaires, bas-fonds...).

Les cartes morpho-pédologiques montrent l'enchevêtrement des unités de paysage, et donc la difficulté d'y repérer précisément les circuits des eaux de ruissellement et de ravinement, non accessibles par les cartes géographiques aux échelles disponibles. Il faut avoir recours à des parcours de terrain avec les producteurs, en s'appuyant si possible sur des images satellitaires.

## Des pratiques agro-écologiques porteuses d'avenir

Faut-il pour autant perdre espoir ? Nous n'en croyons rien, car, en ce qui concerne les sols cultivables :

- nous savons dès à présent maîtriser des techniques anti-aléatoires pour les cultures de saison des pluies, ce qui permet de « sécuriser » des rendements à un niveau sensiblement supérieur aux moyennes actuelles ;
- nous savons aussi augmenter la superficie cultivée par actif en régénérant les sols dégradés avec des moyens à la portée des paysans les plus démunis ;
- nous avons par ailleurs de solides espoirs que des paysans puissent fabriquer des composts améliorés de bien meilleure qualité que ceux qui sont disponibles actuellement ;
- les surplus vivriers et fourragers ainsi obtenus permettront une diversification des productions, en particulier le petit élevage villageois.

Pour les espaces non cultivables, d'importants travaux de R&D sont certes encore nécessaires, en particulier en matière d'agroforesterie assistée biologiquement (renforcement du potentiel symbiotique) : les antécédents disponibles sont encourageants.

### **Le ruissellement : l'ennemi public n° 1**

Il n'est pas fortuit que les paysans aient fait de la lutte contre le ruissellement leur priorité, que ce soit avec le zaï ou avec les cordons pierreux : c'est en effet le problème majeur de la lutte contre l'aridité. Selon P. Dugué :

- il peut attendre 100 % sur les *zippeles* ;
- il peut être estimé entre 40 % et 80 % sur les sols gravillonnaires de haut de pente et atteindre 40 % sur les sols limono-argileux ;
- il n'est faible que sur les sols sableux.

En tout état de cause, il est d'autant plus élevé que la pente est plus forte et que l'intensité des pluies est plus élevée ; or la hauteur d'eau totale est constituée pour l'essentiel de fortes pluies, abondantes et intenses.

En conditions semi-arides, le ruissellement constitue le principal facteur aggravant des conditions de sécheresse, puisqu'il pénalise les cultures et limite le rechargement des nappes phréatiques : quand il atteint 40 %, il ramène une pluviosité utile de 500 mm (médiocre) à 300 mm (catastrophique).

Comment lutter contre le ruissellement ? Pour les parcelles cultivées, on a fait récemment des progrès importants avec la mécanisation du zaï en traction asine ; pour les autres, on ne manque pas de solutions techniques (diguettes, retenues...) mais les conditions de leur mise en œuvre sont loin d'être à la portée des villageois.

#### **LE CONTRÔLE DU RUISSÈLEMENT DANS LES PARCELLES CULTIVÉES**

On savait depuis le travail de P. Dugué et des travaux ultérieurs de l'Inera que la croûte superficielle des *zippeles* est susceptible d'être brisée par un travail superficiel, mais on ne pouvait à l'époque le réaliser qu'en traction bovine, laquelle n'est pas à la portée de la majorité des agriculteurs. Ce n'est que récemment, avec le développement de la traction asine et l'existence du porte-outil kassine adapté à la traction asine, que le zaï mécanisé est devenu une option réaliste pour la lutte contre le ruissellement.

**Le développement de la traction asine et la fabrication locale de la kassine**

L'élevage des ânes domestiques a commencé en 1960 ; il était auparavant limité à quelques familles spécialisées dans le transport bâti à longue distance. Nous avons eu l'opportunité, avec des collègues de l'Inera et à la demande d'une ONG luxembourgeoise (Les jeunes agriculteurs et viticulteurs chrétiens du Luxembourg), de décrire ce processus et d'en rendre compte à l'occasion de l'atelier régional organisé à Bobo Dioulasso en 2003 par le Cirad et ses partenaires, consacré à la traction animale en Afrique de l'Ouest (A. Wereme *et al.*, 2003).

La mise au point d'un porte-outil spécialisé pour la traction asine, la « kassine » (voir annexe D), par une ONG française (Prommata, basée en Ariège, héritière des travaux de Jean Nolle, le promoteur des équipements de traction animale en Afrique de l'Ouest) ouvrait parallèlement la voie à la régénération des sols dégradés en traction asine, jusque-là limitée à la traction bovine, et donc à une fraction minimale des paysans. Avec des collègues de l'Inera, de MARP Burkina, une ONG qui travaillait à l'époque dans la province du Zondoma, et de Prommata, nous avons entrepris en 2006 une opération de validation du zaï mécanisé en conditions paysannes, dans sa version asine, qui a permis de mettre en évidence (Barro *et al.*, 2007 a et b) :

- une réduction très importante des temps de travaux (40 heures/ha contre plus de 300) ;
- la capacité de cultiver des *zippelés* incultes et d'obtenir des rendements/ha satisfaisants, de l'ordre de 400 kg/ha en travail manuel et 800 en culture attelée ; l'addition d'une « microdose » d'engrais minéral NPK augmente dans les deux cas les rendements de 400 kg. Dans cette dernière version, la productivité du travail est 24 fois supérieure à celle du zaï manuel sans complémentation minérale. La production de pailles suit les mêmes proportions (5,5 t/ha en zaï manuel conventionnel, 8,5 en zaï mécanique avec complémentation minérale) ;
- les types de sols aptes à répondre favorablement à ce type de travail en sec.



Validation du zaï mécanisé en champ-école paysan (Zondoma, 2006).  
En avant : « zippelé » ; à droite, zaï manuel ; à gauche : zaï mécanisé.



Bien que non mesuré *in situ*, le contrôle du ruissellement constitue incontestablement le facteur essentiel du développement des cultures : le travail du sol avec un coutrier (dent IR 12), croisé pour faciliter le creusement des trous de zaï crée des rugosités de surface, dont témoignent les photos ci-dessous. Ces rugosités sont des freins efficaces au ruissellement.



À gauche : réalisation du zaï mécanisé avec la kassine.  
À droite : état de la surface du sol après passage croisé du coutrier fixé sur la kassine.

#### L'optimisation de l'alimentation hydrique des cultures : les pratiques anti-aléatoires

Compte tenu des aléas pluviométriques évoqués dans la première partie, c'est l'eau disponible dans le sol qui assure l'alimentation hydrique entre deux pluies : l'évapotranspiration potentielle (ETP) journalière étant de l'ordre de 5 à 7 mm par jour, il faudrait que la réserve utile (RUR) du sol contienne 60 mm pour assurer l'alimentation en eau des cultures entre deux pluies espacées de 10 jours, 120 mm si elles le sont de 20 jours. Or la RUR de la majorité des sols cultivés dans les provinces concernées ne dépasse pas 100 mm jusqu'à un mètre de profondeur (cf. Dembélé et Some, 1991) et les racines n'atteignent ces profondeurs qu'après plusieurs semaines.

L'alimentation hydrique des cultures est donc à la merci d'intervalles « secs » supérieurs à deux semaines (inférieurs les premiers jours après le semis). Encore faut-il : que le « réservoir » soit rempli ; et que les racines des cultures descendent suffisamment profondément dans le sol. Ces deux conditions ne sont remplies que

Tableau 4.  
Réserves utiles racinaires cumulées de deux types de sols « ferrugineux tropicaux »  
ou « sols ferrallitiques fortement lessivés » en mm

Profondeur (cm)	Saria*	Karfiguèla**
0-20	17.9	15.5
20-40	40.1	26.1
40-60	61.5	34.8
60-80	61.5	56.4
80-100	102.3	76.6

\* sols à texture plus limoneuse \*\* sols à texture plus sableuse.

si : les techniques culturales limitent au maximum le ruissellement des eaux de pluie, qui est fréquemment intense (> 50 % si le sol est induré en surface) ; et les semis sont suffisamment précoces pour permettre un développement racinaire rapide.

On voit ainsi tout l'intérêt du travail du sol en sec réalisé par le zaï mécanisé, qui freine très efficacement le ruissellement en sol limoneux, comme le montre la photo précédente.

L'optimisation du bilan hydrique résulte aussi de deux pratiques culturales :

- le passage du coutrier entre les lignes en cours de culture, de façon à favoriser l'infiltration des eaux de pluie et à éliminer les adventices ;
- le semis en sec du mil ou du sorgho, c'est-à-dire après le zaï mécanisé et avant les premières pluies. Sous réserve du traitement des graines avec un insecticide, le risque de perdre les semences n'est pas très élevé (quelques kilogrammes), alors que le gain potentiel est élevé : avec une ETP de 6 mm par jour, tout gain de temps est précieux, d'autant que les racines n'explorent à ce stade qu'un volume très réduit de sol.

Des validations de ces deux options sont en cours, les premiers résultats s'avérant satisfaisants.

La kassine permet non seulement la régénération des sols dégradés, mais aussi la mise en œuvre de plusieurs pratiques « anti-aléatoires » dans les sols cultivés, qui améliorent beaucoup le bilan hydrique des cultures.

Elle permet également une diminution très appréciable des temps de travaux, non seulement en ce qui concerne le zaï, mais aussi les sarclages : on peut en attendre une forte augmentation de la superficie cultivée par actif, probablement un doublement (de 0,65 à 1,3 ha), par la remise en culture des sols dégradés.

Elle coûte une centaine d'euros ; ses différents équipements, qui peuvent être achetés par plusieurs paysans (ou loués), représentent une cinquantaine d'euros. Le quintal de sorgho se vendant actuellement une vingtaine d'euros, les bases économiques d'une bonne rentabilité sont acquises.

#### ***Le Centre technique d'amélioration de la traction asine (CTAA)***

Avec la création en 2007 à Imasgo, dans le Boulkiemdé, du CTAA, centre dédié à la promotion de la traction, celle-ci bénéficie maintenant au Burkina d'une structure d'appui jusque-là inconnue : plusieurs centaines de paysans ont été formés et sont en cours de formation à l'élevage des ânes et à l'utilisation de la kassine. Financé par la Coopération luxembourgeoise et géré par l'ONG AMUS (Association Mains Unies pour le Sahel), il s'appuie sur quatre villages représentatifs de la diversité des situations des régions Nord, Centre-Est, Boulkiemdé et Sanguié, dont les CVD (voir supra) sont associés à ses choix stratégiques.

#### **LE CONTRÔLE DU RUISSellement SUR LES ESPACES NON CULTIVÉS**

Les photos de la première partie et les schémas de l'annexe A mettent en évidence la gravité des processus de ruissellement et d'érosion d'une part, et la complexité topographique des unités de paysages correspondantes de l'autre. Concevoir et

réaliser des dispositifs aptes à y limiter le ruissellement suppose donc une excellente connaissance des terrains à protéger et des circuits des eaux de ruissellement, ce qui implique une collaboration étroite entre les paysans concernés et des techniciens avertis. Cela étant, la nature des ouvrages à réaliser est bien connue, ainsi que les méthodes de construction. À titre d'exemple, on illustre ci-dessous un chantier de construction d'une digue de protection en amont d'un glaciais.



Photo Yeyé Ouédraogo

*Chantier-école de réalisation d'une digue de protection.*

La réalisation de tels ouvrages (ou de diguettes de retenue) est toutefois onéreuse : le problème de savoir comment la financer est d'autant plus difficile à résoudre que les bénéficiaires des effets induits (limitation du ruissellement, contrôle de l'érosion, recharge des nappes phréatiques...) ne peuvent pas être individualisés, puisqu'il s'agit de la gestion d'un bien public : l'eau. Les situations foncières sont complexes (y a-t-il une ou plusieurs familles fondatrices qui revendiquent des droits sur les espaces correspondants ?) (cf. Ouédraogo Y., 1996). De surcroît, ce sont des zones de vaine pâture, y compris par des troupeaux transhumants : encore un bien public ! cela constitue donc un imbroglio technique, économique et social dont la solution a toute les chances d'être compliquée. Une certitude toutefois : les projets de gestion des terroirs, dans le cadre du PNGT, ainsi que le projet PDRD, basé à Yako, se sont confrontés à ces problèmes d'aménagement. Il serait important d'avoir connaissance de leurs acquis et de leurs recommandations.

### **L'amélioration des composts**

Les sols cultivables de la Région sont pauvres en matière organique, leur capacité d'échange cationique est faible et ils sont fortement carencés en phosphore. Nous faisons le point dans l'annexe E sur les connaissances disponibles, en particulier après les travaux de P. Dugué dans trois villages de références sur les pratiques paysannes et les modalités d'une fertilisation améliorée.

Il en concluait que les conditions pour que la fertilisation minérale recommandée par les services techniques soit efficace et rentable sont très restrictives (certains types de sol) et aléatoires (pluviométrie favorable). La seule alternative organique

disponible à l'époque, la poudrette de parc, n'offre pas suffisamment de résidus organiques pour jouer un rôle autre que de fertilisation minérale, elle aussi soumise aux aléas climatiques. L'utilisation systématique des résidus de cultures comme ressource fourragère limite sévèrement les possibilités de fabriquer des quantités significatives de fumier ou de compost.

L'option d'une fertilisation par l'usage de composts s'impose donc, d'autant qu'avec la pratique du zaï, c'est celle qui est mise en œuvre par les paysans. Mais les composts qu'ils utilisent sont de mauvaise qualité chimique, organique et microbiologique. Leur amélioration a fait l'objet de nombreux travaux de l'Inera (Sawadogo *et al.*, 2008) et de plusieurs ONG burkinabés, dont l'ARFA dans l'est du pays (Association pour la Recherche et la Formation en Agro-écologie, à Fada N'Gourma) (ARFA, 2005 ; Sagnon, 2005) et le CEAS (Ouedraogo E., 2004). Les modalités en sont simples, même si leur mise en œuvre est très exigeante en temps de travail : optimiser les conditions de la fermentation (couches successives de résidus de récolte, de déchets animaux, de cendres domestiques ; arrosages, retournements...) ; et enrichir le mélange avec du phosphate tricalcique, disponible localement. Les résultats obtenus sont très convaincants : raccourcissement du temps de fermentation (de l'ordre de deux à trois mois), destruction des graines d'adventices, effets sur le rendement des cultures maraîchères (les maraîchers sont les principaux utilisateurs de composts) et céréalières. Certains paysans du Gourma, appuyés par l'ARFA, en ont déjà une bonne pratique.

Leur adoption en zone subaride constitue donc un objectif important, mais elle va se heurter à la disponibilité en eau, déjà limitante en de nombreux endroits pour les besoins des familles et de leurs troupeaux. D'où l'idée, que nous sommes en train d'expérimenter, d'accélérer la dégradation des lignines et des celluloses par l'adjonction au compost de spores de *Trichoderma harzianum*, champignon endémique des sols tempérés et tropicaux, avec l'objectif de raccourcir sensiblement le délai de fabrication des composts tout en bénéficiant de ses effets d'inhibition de certains parasites des cultures (Razikordmahalleh ; Rudresh *et al.*, 2005 ; Sharon *et al.*, 2009). Les résultats préliminaires obtenus en 2011 tant sur maïs, niébé et sésame que sur plusieurs cultures maraîchères s'avèrent très encourageants.

La fabrication à grande échelle de composts améliorés sera une œuvre de longue haleine, car les volumes et les quantités en cause sont élevés : il faut en effet 30 t/ha en maraîchage (1,5 t sur 500 m<sup>2</sup>), 5 t/ha en grande culture. Or, la fabrication de 5 t de compost amélioré nécessite la confection de fosses adéquates, le transport et la manipulation de 3,5 t de résidus végétaux, l'arrosage en plusieurs fois avec au moins 1,5 m<sup>3</sup> d'eau, au moins deux retournements pour assurer une aération suffisante... C'est pourquoi nous estimons que ce sont les maraîchers qui seront les premiers clients : ils sont déjà nombreux dans la zone, y compris dans les villages où se sont créés des périmètres maraîchers avec l'aide d'ONG diverses. Il existe déjà un marché des composts, même si leur qualité laisse souvent à désirer. Dans la perspective de composts améliorés, il est probable (et nous pourrions y contribuer) que se développe une profession d'artisans spécialisés dans la fabrication de composts améliorés, bénéficiant d'accès facilité à l'eau (proximité de bas-fonds), d'équipements de transport (charrettes) et de main-d'œuvre suffisants.

## Le renforcement des symbioses racinaires

Il constitue le troisième volet de l'approche agro-écologique. L'Inera et l'IRD ont collaboré plusieurs années sur le thème des symbioses racinaires des arbres endémiques, en particulier les symbioses mycorhiziennes (Ba *et al.*, 2010). Robin Duponnois, du LSTM de Montpellier, propose de valoriser les ressources arbustives pionnières dans le cadre du zaï mécanisé en utilisant des composts améliorés, sur la base de l'hypothèse de travail suivante : « L'introduction dans la technique du zaï d'espèces végétales endémiques ayant une forte dépendance mycorhizienne pourra augmenter le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) de ces sols et contribuera à la réactivation des phénomènes biologiques impliqués dans le fonctionnement des cycles biogéochimiques (P, N) pour aboutir à un maintien durable de la fertilité des sols. De plus, ces "plantes nurses", via leur impact sur le PIM des sols, optimiseront la valeur agronomique des intrants généralement utilisés dans la technique du zaï (compost, phosphate naturel). » Dans ce cadre, il conviendra : d'identifier et mesurer le potentiel mycotrophe d'espèces pérennes endémiques utiles (une demi-douzaine, choisies avec les paysans concernés) ; d'évaluer la mycorhization des espèces choisies en conditions de zaï ; d'identifier les mécanismes microbiens du sol favorables à la croissance des plantes. L'Inera et l'IRD disposant localement des personnels scientifiques et des équipements pour mener à bien les analyses de laboratoire et les observations de terrain, la mise en œuvre de ces activités ne se heurte pas à des obstacles majeurs. Cette étude permettra d'ouvrir la voie à une approche renouvelée de l'agroforesterie.

Parmi les arbres dont le développement nous paraît très souhaitable, *Moringa oleifera* occupe une place importante. L'annexe G rappelle ses remarquables propriétés nutritionnelles, qui en font un des meilleurs candidats pour lutter contre la malnutrition en milieu rural, à coût monétaire nul. C'est aussi un excellent complément fourrager. Il devrait trouver sa place dans les concessions villageoises, où il peut facilement être arrosé en saison sèche et protégé des animaux en divagation, ainsi que sa place d'origine dans les savanes, sous réserve de le protéger du bétail itinérant.

## L'aviculture villageoise et le petit élevage

Volailles et petits ruminants sont présents dans toutes les exploitations paysannes de la région. Les statistiques disponibles (cf. annexe C) montrent les effectifs moyens suivants pour trois des quatre provinces de la région Nord :

Tableau 5.

	Asins	Bovins*	Caprins	Ovins	Pintades	Poules	Porcins*
Passore	1	1.9	6.5	4.1	6.2	27.5	2.2
Yatenga	0.4	2.3	5.9	4.8	1.6	9	0.1
Zoundoma	1	1.1	8	4.8	4.1	17.5	0.6

\* il est peu probable que ces moyennes soient pertinentes dans le cas des bovins et des porcins, du fait du rôle des peulhs dans le premier cas, et des appartenances religieuses dans le deuxième.

Qu'il s'agisse de volailles ou de petits ruminants, les effectifs sont modestes. Ces élevages sont en effet limités par des pathologies sévères et par le déficit de ressources alimentaires (grains pour les volailles, fourrages pour les ruminants). Contre les premières, AVSF a montré qu'elles sont maîtrisables en milieu paysan par la création de réseaux d'auxiliaires villageois d'élevage, sous le contrôle de vétérinaires professionnels. Mais l'accroissement des ressources alimentaires exige l'intensification des cultures vivrières et fourragères.

Dès lors que ces conditions sont remplies, l'expérience d'AVSF (AVSF, 2001), qui porte sur plusieurs centaines de villages et plusieurs milliers de poulaillers traditionnels améliorés pendant plusieurs années, montre :

- qu'en conditions paysannes, le contrôle sanitaire de la maladie de Newcastle et des affections parasitaires peut être assuré de façon très satisfaisante, et qu'il assure aux auxiliaires villageois d'élevage un complément substantiel de revenus (les vaccinations sont payantes) ;
- que l'alimentation des familles d'éleveurs peut être enrichie de façon appréciable (de l'ordre de trois volailles et autant d'œufs par mois et par famille) ;
- que leurs revenus monétaires annuels peuvent être accrus d'un montant de l'ordre d'au moins cent euros, pour un coût d'investissement du même ordre, amortissable sur plusieurs années.
- que les femmes exploitant des poulaillers traditionnels améliorés (PTA) représentent un pourcentage important des ménages bénéficiaires : l'aviculture villageoise est un puissant outil de promotion féminine et de lutte contre la pauvreté rurale ;
- que les organisations d'éleveurs (groupements, fédérations) ont joué un rôle très important pour assurer le relais avec la profession vétérinaire, les autorités administratives et les collectivités territoriales.

### **Perspectives : l'amorce d'un cercle vertueux**

L'objectif d'une productivité du travail de 15 q de céréales par actif par an en moyenne interannuelle (alors qu'elle ne dépasse pas 4 q actuellement), que nous avons évoqué peut être atteint à court terme par la combinaison de la traction asine, du zaï mécanisé et de la micro-fertilisation minérale NPK.

- On sait maîtriser l'eau à la parcelle, avec des moyens à la portée du plus grand nombre : par rapport au zaï manuel, et avec l'apport localisé d'une microdose de NPK, on peut espérer atteindre un surcroît de production par ha de 800 kg de grains de céréales et 3 t de pailles et de feuilles.
- Au niveau actuel de superficie cultivée par actif (0,65 ha), cela représente une augmentation de la productivité du travail de 520 kg de grains et 2 t de résidus organiques.
- Si notre hypothèse de duplication de la superficie cultivée par actif par régénération des sols dégradés se vérifie, la productivité du travail, accrue de 10 q de grains et de 4 t de résidus de récolte, passe à 14 q pour les premiers et à 7,5 pour les deuxièmes.



On franchit ainsi trois seuils essentiels :

- on sort de l'insécurité vivrière (4 q par actif) et on dispose d'excédents céréaliers de l'ordre de 10 q, qui permettent des revenus financiers directs et une valorisation par l'aviculture ;
- on dispose de résidus de récoltes utilisables dans l'élevage de petits ruminants et pour la fabrication de composts (il faut entre trois et quatre tonnes de résidus pour fabriquer 5 tonnes de compost amélioré) ;
- on dispose d'une quantité plus importante de déjections animales issues du petit élevage, la composition des composts peut être notoirement améliorée.

Parallèlement, en accompagnement des progrès de la productivité céréalière, nous pourrions appuyer le développement de l'aviculture villageoise et de l'élevage des petits ruminants

Il faudra en même temps valider en conditions paysannes les méthodes d'amélioration des composts avec l'adjonction de *Trichoderma harzanae*, tant pour la production maraîchère que pour les grandes cultures, et appuyer la création d'ateliers artisanaux de fabrication de composts.

D'importants travaux de R&D doivent accompagner ces évolutions, tant pour le pilotage des formules de fertilisation organique (on procède actuellement à l'aveuglette tant pour la nutrition minérale des cultures que pour l'évolution organique et biologique des sols) que pour mettre en œuvre les travaux visant au renforcement des symbioses racinaires au profit de l'agroforesterie « ciblée » vers des espèces importantes pour le développement.

#### DES MÉTIERS RURAUX D'AVENIR

Le développement de ces activités s'appuiera sur une trame de métiers ruraux dont deux au moins sont susceptibles de devenir rapidement autonomes financièrement : les forgerons fabricants de kassines et les auxiliaires villageois d'élevage (au Togo, certains d'entre eux complètent ainsi leurs revenus d'éleveurs avec des montants de l'ordre de 100 000 FCFA par an). Le troisième métier d'avenir autofinancé serait celui de fabricant de composts améliorés.

Un quatrième métier paysan sera un jour indispensable : celui de spécialiste de l'aménagement de l'espace rural ; ses bases demandent à être formalisées, car le Burkina dispose certainement de nombreuses références, encore éparées. Il faudra aussi trouver des modalités de financement, mais là aussi la valeur ajoutée par les aménagements a toutes les chances d'être très élevée. Le fait qu'elle soit collective ne devrait pas constituer un obstacle dirimant, dès lors que les CVD en assureraient le pilotage.

#### ÉCHÉANCES, DÉLAIS

Nous ne sommes pas en mesure de les préciser dans le cadre de cette note : il revient en effet aux partenaires actuels et potentiels de jeter les bases d'une stratégie d'action par provinces, communes, villages, en déterminant les éléments et les paramètres de réplification des actions. Il faudra aussi profiler les politiques publiques correspondantes, particulièrement pour ce qui est de l'organisation des marchés, des filières et des prélèvements fiscaux (TVA).

En tout état de cause, une telle entreprise suppose une visibilité à moyen terme d'au moins neuf ans, en trois phases renouvelables en fonction des résultats obtenus.

#### FINANCEMENTS

La présente note n'a pas pour vocation à aborder cette question. Je me contenterai de deux remarques orientatives.

Dans le cas de la traction asine comme de l'aviculture villageoise, les investissements monétaires d'un ménage rural sont de l'ordre d'une centaine d'euros, et les valeurs ajoutées annuelles initiales se situent entre 50 et 100 euros, garantissant de saines conditions de remboursements d'emprunts. Les financements publics, quelles que soient leurs origines, devraient être limités aux dépenses de formation et de suivi technico-économique.

Dès lors que les gains de productivité céréalière du travail seront atteints, et qu'ils se massifieront, les filières céréalières et de petit élevage seront approvisionnées et verront circuler des masses monétaires importantes. Dans notre hypothèse d'un excédent céréalier annuel d'une dizaine de quintaux par actif et de 2 t de résidus à usage fourrager (auquel nous fixons arbitrairement une équivalence de 2 q de céréales), ce sont 12 q de céréales qui seront soit vendues directement, soit transformées en produits animaux vendus (œufs, volailles, moutons et chèvres). Sa valeur commerciale actuelle est de 15 000 FCFA le quintal de céréales, soit +/- 20 euros, ou 240 euros par actif par an. Pour un ménage de trois actifs, cela représente une somme de 720 euros. Dès que le processus se massifie, il y a matière à prélèvement fiscal : si on retient la base de 20 %, ce sont environ 150 euros par ménage. Rappelons que la Région compte actuellement 160 000 ménages environ.

Des recettes fiscales d'un montant appréciable permettraient de financer les travaux d'aménagement sur les espaces non cultivables. Prenons à titre d'exemple le cas d'un village de 1 000 habitants (150 ménages), avec une densité géographique de 70 hab/km<sup>2</sup>, dont le terroir s'étend donc sur environ 1 500 ha, dont 300 sont cultivés et 1 200 non cultivables, qu'il convient donc d'aménager. À combien s'élèverait, dans nos hypothèses, une taxe de 20 % appliquée aux excédents vivriers et fourragers ? À 22 500 euros (150 euros x 150 ménages), soit près de 20 euros par ha et par an pour l'aménagement. Sous réserve de vérification, les expériences réussies, en la matière, ont dû coûter sensiblement moins cher.

Nous formulons donc l'hypothèse que les gains de valeur ajoutée obtenus par les seules activités céréalières et de petit élevage sont susceptibles de financer l'aménagement des espaces non cultivables, limitant ainsi les financements publics aux seuls services liés au projet, dont la formation.

## Conclusions, perspectives

Un long chemin a donc été parcouru depuis que les « grandes sécheresses » des années 65/73 ont mobilisé des efforts considérables de la part des paysans et de leurs



partenaires du développement et de la recherche. Même si le pire a sans doute pu être évité, la paupérisation des populations rurales et la dégradation des ressources naturelles restent des processus récurrents.

Les contrecarrer efficacement passe par :

1) la mise en œuvre de connaissances acquises et éprouvées, notamment en matière de traction asine, de zaï mécanisé avec une fertilisation minérale minimale, mais aussi d'aviculture villageoise et d'élevage de petits ruminants. Elles sont susceptibles de faire progresser la productivité et la valeur ajoutée du travail paysan dans des proportions très importantes ;

2) l'acquisition et la mise en œuvre de connaissances nouvelles concernant en particulier la fabrication artisanale de composts améliorés à usage maraîcher et de grandes cultures, ainsi que le renforcement des symbioses racinaires au profit d'une nouvelle approche de l'agroforesterie.

Il faudra nécessairement traiter la question de l'aménagement des espaces non cultivables, qui peuvent représenter plus de la moitié de la superficie des terroirs, en se basant sur les acquis du PDRD et du PNGT. En complémentarité avec les « champs écoles », qui permettent des échanges efficaces entre paysans, techniciens et chercheurs, ne conviendrait-il pas de créer des « terroirs écoles », qui élargiraient ces dialogues à la gestion des espaces non cultivés ? Cette indispensable gestion collective constitue en effet un des défis majeurs pour l'avenir, comme l'avaient déjà souligné J.-Y. Marchal et P. Dugué.

Les partenaires compétents pour la réalisation de ces quatre composantes (zaï mécanisé en traction asine, petit élevage villageois, fabrication de composts améliorés, études sur le renforcement des symbioses racinaires d'arbres utiles issus de la biodiversité) entreprennent en 2011 et 2012 la mise en œuvre des trois premières. Ils souhaitent pouvoir engager le plus tôt possible un projet de moyen terme qui inclurait les quatre composantes

## Liste des Annexes :

A : Croquis morpho-pédologique de deux villages

B : Statistiques régionales commentées

C : Synthèse de l'étude Reij et Thiombiano

D : La kassine

E : Fertilité des sols

F : Les ligneux à Ziga

G : Le Moringa

## Références

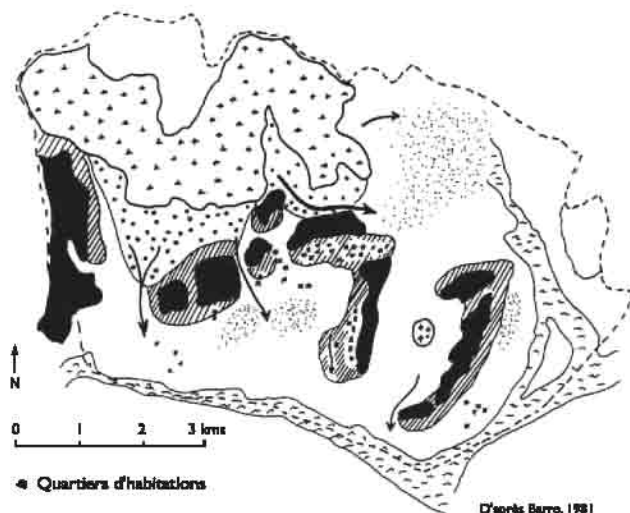
- Ancey G. (1977)  
« Variation mossi sur le thème : reproduction des milieux ruraux. » in « Essais sur la reproduction des formations sociales dominées » ORSTOM Paris Travaux et documents ; pp 1-13.
- ARFA, CRREA Est (2005) :  
« Projet de mise au point et test d'application d'un compost enrichi à l'engrais biologique ORCA : rapport final » ARFA Fada N'Gourma, 15 p
- AVSF :  
« Développement de l'aviculture villageoise en Afrique de l'Ouest : vingt ans d'expérience au Togo, au Mali et au Sénégal : bilan et perspectives » Lyon 2011.
- Ba Amadou M., Diedhiou Abdala G, Prin Yves, Galiana Antoine et Duponnois Robin :  
« Valorisation des symbiotes ectomycorhiziens associés aux essences forestières exotiques d'intérêt économique pour améliorer les performances des programmes de reboisement en Afrique tropicale »  
Ann. For. Sci. Volume 67, Number 3, May 2010
- Barro A., Hien V., Billaz R., Kabore I. et Konkissere S. (2007a) :  
« La pratique du zaï mécanique par les paysans innovateurs du Nord et du centre du Burkina Faso »  
FRSIT Ouagadougou 15 p.
- Barro A., Zougmore R., Maraux F., Dugu Ep. (2007b) :  
« Etude de cas sur la récupération des sols dégradés dans le plateau central du Burkina Faso : un chemin vers une agriculture durable »  
INERA Ouagadougou, 17 p.
- Billaz R., Diallo I., Tourte R.  
« La recherche appliquée au service du développement rural régional : l'exemple du Yatenga en Haute Volta »  
IFARC-GERDAT 1981
- Billaz R., Hien V., Segda Z., Traore K. (2001) :  
« Systèmes de culture permanente à jachère de courte durée en zone tropicale »  
in : Floret C. et Pontanier R. (éd) :  
« La jachère en Afrique tropicale » John Libbey Eurotexte Paris Volume 2, pp. 241.264
- Billaz R, Guimaraes F et Conti C (2000).  
« SAVANAS », CD ROM interactif consacré aux contributions des systèmes de cultures sous couvertures permanentes à la gestion durable des savanes péri amazoniennes.  
CIRAD ; UEL Londrina Brésil
- Botoni Edwige, Reij Chris  
« La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel »  
1989 CIS Amsterdam, CILSS
- Dembele Y. & Some L.  
« Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso » in *Soil Water Balance in Vie Sudano-Sahdian Zone* (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. no. 199, 1991. INERA,
- Dugué P.  
« Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne : le cas du Yatenga au Burkina Faso »  
1989 Thèse de docteur-ingénieur.  
ENSAM Montpellier
- Dugué P., Rodriguez L., Ouoba B., Sawadogo I., 1994.  
Techniques d'amélioration de la production agricole en zone soudano-sahélienne : manuel à l'usage des techniciens du développement rural, élaboré au Yatenga, Burkina Faso. CIRAD-SAR, 209 p.
- Forest F. 1984 :  
Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales.  
BIP IRAT-CIRAD Montpellier multigraphié
- Kabore WTT (2005) :  
Usage des fumures organiques dans les systèmes de cultures et viabilités des agro-systèmes en zone soudano-sahélienne : cas du zaï à Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso).  
Mémoire de diplôme de maîtrise spécialisé.  
CNEARC Montpellier
- Mando A., Zougmore R., Zombre P.N., Hien V. (2001) :  
« Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique sub-saharienne »  
in : Floret C. et Pontanier R. (éd) :  
« La jachère en Afrique tropicale » John Libbey Eurotexte Paris volume II, pp. 241.264

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Marchal J.-Y. « Yatenga : Dynamique d'un espace rural soudano-sahélien » ORSTOM Paris 1983
- Ouedraogo E. (2004) : « Le compostage pour l'amélioration de la fertilité des sols et la production agricole au Sahel » ; CEAS Ouagadougou
- Ouedraogo Y. Alfred : Les systèmes foncier traditionnels et l'occupation de l'espace agropastoral dans le centre du Burkina Faso : Mémoire de Maîtrise mai 1996.
- PDCL/SAZ et BACED (juillet 2006) du « Analyse environnementale de la zone d'intervention du PDCL/SAZ ».
- Razikordmahalleh I., "Effect of Inoculation of *Trichoderma harzianum* on the Rate of Sugarcane Bagasse Decomposition and Produced Compost Enrichment". Dept of the Environment, Hemmat Highway, Centre of Environmental Research, Soil Dept, Tehran, 9821, Iran,
- Reij C. Thiombiano T ; (2003) : Développement rural et environnement au Burkina Faso : La réhabilitation de la capacité productive des terroirs sur la partie Nord du Plateau central entre 1980 et 2001 Rapport de synthèse mai 2003 GTZ/Patecore ; USAID
- Roose E., Kabore V., Guenat C., 1995. Le zaï. Fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). Cahiers ORSTOM Pédologie. In : Spéciale érosion : réhabilitation des sols et GCES. pp 158-173.
- Rudresh, D L. ; Shivaprakash, M K. ; Prasad, R D (2005). "Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *Trichoderma* spp. in relation to P uptake and growth and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.)". Canadian journal of microbiologie) Volume 51, Number 3, pp. 217-222(6).
- Sagnon S. (2005) : (2006) : « Rapport d'activités de R/D INERA/ARFA : suivi de la production et du test d'application du compost enrichi à l'engrais biologique ARFA » INERA Ouagadougou.
- Sawadogo H., Bock L., Lacroix D. , Zombre N. P. (2008) : « Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso) » ; Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2008 12(3), 279-290
- Sharon E., Chet I. and Spiegel Y.. (2009) : "Improved attachment and parasitism of *Trichoderma* on *Meloidogyne javanica* in vitro" ; European Journal of Plant Pathology) Volume 123, Number 3.
- Wereme Aïssata, Ouedraogo Alfred, Billaz René : « La traction asine en milieu rural du plateau central du Burkina Faso » communication à l'atelier des résultats de l'ATP « traction animale » XI 2003 Bobo Dioulasso

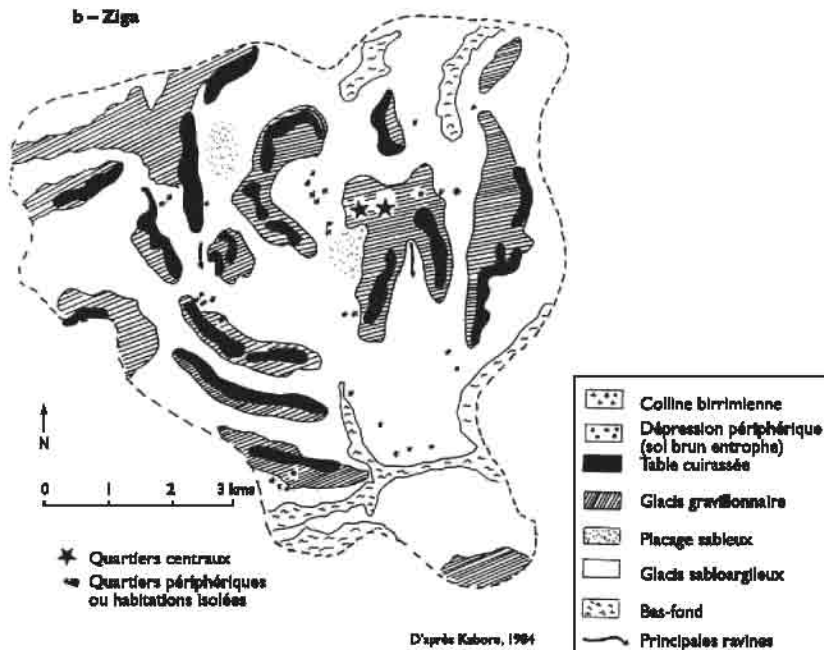
## Annexe A

a - Sabouna



D'après Barro, 1981

b - Ziga

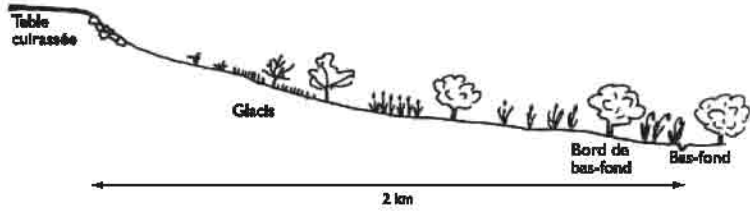


D'après Kabore, 1984

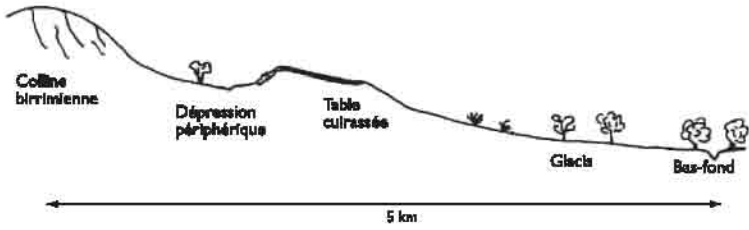
Croquis morpho-pédologique de deux terroirs du Yatenga.

Source : Dugué P.

A - L'exemple du village de Ziga



B - L'exemple du village de Sabouna



Topo-séquences correspondantes.  
Source : Dugué P.

## Annexe B Statistiques régionales commentées

### Population

Population et densité par région et province des trois derniers recensements

	Population			Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité		
	1985	1996	2006		1985	1996	2006
Loroum	82 773	111 339	142 853	2 587	31,9	43	55,2
Passore	223 830	271 864	323 222	3 866	57,9	70,3	83,6
Yatenga	353 669	444 563	553 164	6 987	50,6	63,6	79,2
Zoundoma	100 136	127 654	166 557	1 759	56,9	72,6	94,7
Région du Nord	760 408	955 420	1 185 796	16 199	46,9	59,0	73,2
Burkina Faso	7 964 705	10 312 609	14 017 262	270 764	29,4	38,1	51,8

Source : RGP/INSD

**Commentaires** – Les 4 provinces ont connu, comme l'ensemble du pays, une très forte croissance démographique, de l'ordre de 60 % à 70 % en vingt ans. Conséquence : la croissance de la densité de population et de la pression qu'elle exerce sur les ressources naturelles, qui s'ajoute à celle du bétail, dont les effectifs croissent en moyenne à raison de 2 % par an.

Même limitée à la population rurale (voir ci-dessous), cette densité représente une pression très élevée sur les ressources naturelles. En effet, une densité de 100 habitants au km<sup>2</sup> signifie que chaque habitant ne « dispose » que d'un hectare (1 km<sup>2</sup> = 100 hectares), soit, pour un ménage rural de 6,5 personnes, 6,5 ha. Or, dans ces savanes, une proportion élevée des sols n'est pas cultivable, pour des raisons diverses (déclivité, texture, profondeur)\*. Il n'y a plus de « réserve foncière » pour pratiquer des périodes de jachère sur les sols cultivables. La densité la plus critique se trouve dans le Zoundoma, le Passore et le Yatenga, la moins critique étant dans le Loroum.

\* voir ci-dessous l'occupation des sols au niveau régional

	Population rurale	Densité rurale
Loroum	123 722	47,8
Passore	300 537	77,7
Yatenga	480 011	68,7
Zoundoma	141 941	80,6

NB : ces moyennes par province peuvent masquer de fortes disparités locales, liées au relief ou à l'histoire du peuplement.

Population urbaine et rurale en 2006.

	Urbaine				Rurale			
	Ménages	Hommes	Femmes	Ensemble	Ménages	Hommes	Femmes	Ensemble
Loroum	3 043	9 236	9 895	19 131	19 366	58 354	65 368	123 722
Passore	4 392	11 121	11 564	22 685	45 180	138 025	162 512	300 537
Yatenga	14 157	36 370	36 783	73 153	72 704	224 902	255 109	480 011
Zondoma	4 003	11 514	13 102	24 616	20 289	65 170	76 771	141 941
Nord	25 595	68 241	71 344	139 585	157 539	486 451	559 760	1 046 211

Rural : effectifs par ménage				
	Ménages	Hommes	Femmes	Ensemble
Loroum	19 366	3.0	3.4	6.4
Passore	45 180	3.1	3.6	6.6
Yatenga	72 704	3.1	3.5	6.6
Zondoma	20 289	3.2	3.8	7.0
Nord	157 539	3.1	3.6	6.7

### Situation céréalière

Le recensement général agricole (RGA) effectué en 2002, le dernier en date, montre les chiffres ci-dessous

#### SUPERFICIE TOTALE (EN HA) DES CULTURES CÉRÉALIÈRES - EPA- CAMPAGNE 2001/2002

	Mil	Sorgho blanc	Sorgho rouge	Maïs	Riz	Total
Passore	15 835	65 491	2 126	1 266	91	84 808
Yatenga	70 364	69 699	-	2 610	493	143 666
Zondoma	6 319	17 799	176	401	19	24 715
Loroum	40.744	10.776	253	531	121	52.732

Source : Service des Statistiques Agricoles/DEP/M.AGRI.

Les céréales prédominantes sont le mil et le sorgho blanc, dans des proportions sensiblement égales sauf dans le Passore et le Zondoma, dont les cultivateurs ont privilégié le sorgho en cette année 2001. Le sorgho rouge, le maïs et le riz sont des cultures marginales.

Un fait à souligner : la superficie cultivée en céréales par actif rural (la moitié de la population totale) est sensiblement la même, de l'ordre de 0,6 ha (sauf au Zondoma où elle est de 0,34 ). Dans tous les cas, elle est inférieure à 1 ha : il faut y voir la limite des capacités physiques de travail manuel.

**SUPERFICIE CULTIVÉE EN CÉRÉALES PAR ACTIF RURAL (HA)**

<b>Passore</b>	0,56
<b>Yatenga</b>	0,6
<b>Zondoma</b>	0,34
<b>Loroum</b>	0,85

Ce constat valide fortement l'intérêt de la traction animale, particulièrement dans le cas de la traction asine avec la kassine, qui permet d'appréciables gains de temps dans l'exécution des travaux agricoles. Elle doit permettre de doubler la superficie cultivée par actif, donc sa productivité.

**PRODUCTION TOTALE (EN TONNES) DES CULTURES CÉRÉALIÈRES - EPA - CAMPAGNE 2001/2002**

	<b>Mil</b>	<b>Sorgho blanc</b>	<b>Sorgho rouge</b>	<b>Maïs</b>	<b>Riz</b>	<b>Total</b>
Passore	13 374	56 933	2 934	1 175	109	<b>74 525</b>
Yatenga	65 918	69 414	58	2 479	843	<b>139 255</b>
Zondoma	4 623	14 064	108	616	-	<b>19 442</b>
Loroum	22.898	9.719	202	363	111	<b>33 293</b>

Source : Service des Statistiques Agricoles/DEP/M.AGRI.

**RENDEMENT (EN Q/HA) DES CULTURES CÉRÉALIÈRES - EPA - CAMPAGNE 2001/2002**

	<b>Mil</b>	<b>Sorgho blanc</b>	<b>Sorgho rouge</b>	<b>Maïs</b>	<b>Riz</b>
Passore	8.7	8.7	1.4	9.3	12.0
Yatenga	9.4	10.	-	9.5	17.1
Zondoma	7.3	7.9	6.1	15.4	-
Loroum	5,6	9,	8,	6,8	9,2

Source : Service des Statistiques Agricoles/DEP/M.AGRI.

Les rendements des deux principales céréales ne dépassent jamais 10 q/ha, alors que la pluviométrie de cette année a été satisfaisante (par rapport à la moyenne interannuelle). Ils sont donc représentatifs du fonctionnement « courant » des systèmes de cultures.



## Bilan céréalier

En rapportant la production céréalière au nombre d'habitants ruraux, on obtient les chiffres suivants :

*Production céréalière disponible par habitant rural (kg) en 2001.*

<b>Passore</b>	248
<b>Yatenga</b>	290
<b>Zonoma</b>	137
<b>Loroum</b>	174

Les agriculteurs des quatre provinces sont donc dans des situations très contrastées : dans le Zonoma, les paysans ne produisaient cette année pas plus de 137 kg de céréales par personne, alors que dans le Yatenga ils atteignaient plus du double (290 kg). Ces chiffres traduisent des situations très différentes en termes de bilan vivrier. La norme de consommation annuelle de céréales est en effet estimée à 190 kg (MAHRH/SG/DGPSA), ce qui signifie qu'une province est fortement déficitaire (le Zonoma), une à un niveau satisfaisant (Loroum), les deux autres étant excédentaires.

Toutefois, si l'on tient compte des besoins en semences, des risques de pertes de stockage et de la nécessité de disposer de réserves pour faire face à des années fortement déficitaires (au moins une année sur quatre), on est amené à considérer que le « seuil de sécurité céréalière » se situe à 250 kg par personne. On obtient alors les situations suivantes :

*Situation vis-à-vis de la sécurité céréalière (en %), en 2001.*

<b>Déficitaire</b>		<b>Satisfaisante</b>	
Zonoma	55	Passore	99
Loroum	70	Yatenga	116

Source : RB à partir des données du REPA 2001/2002

*Situation vis-à-vis de la sécurité céréalière (en %), en 2003.*

<b>Déficitaire</b>		<b>Satisfaisante</b>	
Zonoma	65	Passore	105
		Yatenga	114
		Loroum	98

Source : RB à partir des données du RDCA 2004/2005

*Situation vis-à-vis de la sécurité céréalière (en %), en 2004.*

<b>Déficitaire</b>	
Zonoma	65
Passore	78
Yatenga	74
Loroum	61

Source : RB à partir des données du RDCA 2004/2005

On constate une grande variabilité interannuelle, conséquence de celle des épisodes pluviométriques : l'année 2004, où le bilan céréalier a été médiocre dans les quatre provinces, a été marquée par un démarrage très tardif des pluies, et une pluviométrie totale faible (596 mm enregistrés à Ouahigouya) ; en 2001, où il a plu 734 mm, et en 2003, où il a plu 730 mm, le Passore et le Yatenga ont eu des bilans céréaliers satisfaisants.

Aucune des quatre provinces n'est donc à l'abri d'une année critique en termes de sécurité céréalère, et par ailleurs deux des quatre sont en déficit chronique : le Zondoma et le Loroum.

## L'optimisation de l'alimentation hydrique des cultures

### LA PLUVIOMÉTRIE

*Évolution de la hauteur de pluie annuelle dans les principales stations (en mm).*

	<b>Moyenne 1971-2000</b>	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ouahigouya	594	730	591	671	673	578	734	580	730	596	627	648	936	759

Source : Direction de la Météorologie/Ministère des Transports

### L'OCCUPATION DES SOLS

*Situation de l'occupation des terres par région en superficie en hectares en 2002.*

	<b>Cultures</b>	<b>Forêts</b>	<b>Steppes</b>	<b>Savanes</b>	<b>Plan d'eau</b>	<b>Mosaïque</b>	<b>Autres</b>
Nord	657 956	40 197	462 154	182 067	8 489	232 944	57 581
Burkina Faso	10 299 900	921 104	3 639 363	8 377 299	104 535	3 299 838	646 448

Source : BDOT 2002

### LA RÉSERVE EN EAU DU SOL

C'est l'eau disponible dans le sol qui peut assurer l'alimentation hydrique entre deux pluies : l'évapotranspiration potentielle (ETP) journalière étant de l'ordre de 5 à 7 mm par jour, il faudrait que la réserve utile (RUR) du sol contienne 60 mm pour assurer l'alimentation en eau des cultures entre deux pluies espacées de 10 jours, 120 mm si elles le sont de 20 jours. Or la RUR de la majorité des sols cultivés dans les provinces concernées ne dépasse pas 100 mm jusqu'à un mètre de profondeur.

*Réserves utiles racinaires cumulées de deux types de sols « ferrugineux tropicaux » en mm.*

<b>Profondeur (cm)</b>	<b>Saria*</b>	<b>Karfiguèla**</b>
0-20	17,9	15,5
20-40	40,1	26,1
40-60	61,5	34,8
60-80	61,5	56,4
80-100	102,3	76,6

\* sols à texture plus limoneuse      \*\* sols à texture plus sableuse

L'alimentation hydrique des cultures est donc à la merci d'intervalles « secs » supérieurs à deux semaines. Encore faut-il (i) que le « réservoir » soit rempli et (ii) que les racines des cultures descendent suffisamment profondément dans le sol. Ces deux conditions ne sont remplies que si (i) les techniques culturales limitent au maximum le ruissellement des eaux de pluie, qui est fréquemment intense (> 50 % si le sol est induré en surface) et (ii) les semis sont suffisamment précoces pour permettre un développement racinaire rapide.

#### LES PRATIQUES CULTURALES ANTI-ALÉATOIRES

On voit ainsi tout l'intérêt du travail du sol en sec réalisé par le zaï mécanisé, qui freine très efficacement le ruissellement en sol limoneux. On voit également l'intérêt de valoriser au mieux les premières pluies, en pratiquant le semis en sec : avec une ETP de 6 mm par jour, tout gain de temps est précieux, d'autant que les racines n'explorent à ce stade qu'un volume très réduit de sol.

La kassine, en permettant le zaï mécanisé en saison sèche, est donc une pratique « anti-aléatoire » très efficace. On a montré par ailleurs son utilité pour la régénération des sols dégradés, qui s'étendent déjà sur des superficies importantes (et croissantes).

### L'élevage

Sous les réserves exprimées ci-dessous concernant les bovins et les porcins, les chiffres ci-dessous donnent sans doute une assez bonne image de la réalité de l'élevage paysan dans les quatre provinces :

*Effectif de bétail par ménage rural en 2008.*

	Asins	Bovins	Caprins	Ovins	Pintades	Poules	Porcins
Passore	1	1,9	6,5	4,1	6,2	27,5	2,2
Yatenga	0,4	2,3	5,9	4,8	1,6	9	0,1
Zonoma	1	1,1	8	4,8	4,1	17,5	0,6
Loroum	0,3	4,7	8,3	7,2	0,7	7,7	0,03

Source : RB à partir des statistiques du MRA et du RGP

Hormis donc ces deux cas, l'élevage des ménages des quatre provinces se résume (au plus) à un âne, une quinzaine de moutons et chèvres et une trentaine de volailles. Le potentiel n'est pas négligeable (en particulier pour la traction asine), mais il est fortement limité par la pathologie, omniprésente, et par le déficit chronique de ressources fourragères et céréaliers. Il est important de noter que :

- la maîtrise des pathologies en milieu paysan est maintenant possible, grâce aux acquis d'AVSF,
- l'intensification des cultures est indispensable au développement des petits élevages, pour disposer d'excédents céréaliers et de résidus de récoltes (fanés, feuilles, tiges..)

## La pression des ruminants sur les sols non cultivés

Les données disponibles permettent d'évaluer la superficie non cultivée de chaque province et l'équivalent en UBT\* des effectifs de ruminants.

La conversion en UBT des effectifs de ruminants conduit aux valeurs ci-dessous :

*Effectif de bétail par ménage rural en 2008.*

	<b>Bovins</b>	<b>Caprins</b>	<b>Ovins</b>	<b>Total UBT</b>
Passore	83 872	294 944	187 487	
UBT	63 000	29 500	18 700	111 200
Yatenga	170 020	426 141	345 759	
UBT	127 500	42 600	34 600	204 700
Zonдома	23 350	161 398	97 940	
UBT	17 500	16 100	9 800	43 400
Loroum	91 200	160 990	139 962	
UBT	68 400	16 099	13 996	98 495

\* Unité de bétail tropical, correspondant à un animal de 250 kg.  
Les taux de conversion utilisés sont de 0,75 par tête de bovin, 0,10 pour un petit ruminant (données fournies par Philippe Lhoste)

On peut alors calculer le nombre d'hectares non cultivés (JAC) disponibles par UBT, ce qui conduit aux valeurs suivantes :

	<b>Superficie totale (ha)</b>	<b>Superficie cultivée (ha)</b>	<b>Superficie non cultivée (ha)</b>	<b>UBT (u)</b>	<b>SNC (ha)/ UGB</b>
Passore	386.600	84 808	301 000	111 200	<b>3,0</b>
Yatenga	698.700	143 666	555 000	204 700	<b>2,7</b>
Zonдома	175 900	24 715	151 000	43 400	<b>3,3</b>
Loroum	258 700	52 732	205 968	98 495	<b>2,1</b>

Ces valeurs (moins de 3 ha par UBT) sont très alarmantes, dans la mesure où les zootechniciens considèrent qu'il faut environ 15 ha de végétation naturelle de ces savanes semi-arides pour alimenter une UBT. On est donc en régime de surpâturage généralisé. On sait qu'il est, avec les prélèvements de bois de feu à usage domestique, à l'origine du processus de désertification.

## Annexe C

### Synthèse de l'étude Reij et Thiombiano

#### a) Les rendements des céréales ont progressé

Globalement, les résultats rapportés par Reij et Thiombiano sont très positifs, par ex. :

- En 2001, la moyenne des rendements dans les villages avec beaucoup de CES était de 793 kg/ha, alors qu'ils étaient de 611 dans les villages avec peu de CES.
- En trois périodes de 4 ans, avec CES, on a mesuré une progression des rendements les rendements suivants :
  - 1984-88 : sorgho : 450 kg/ha ; mil : 450
  - 1989-95 : sorgho : 550 ; mil : 500
  - 1995-2001 : sorgho : 700 ; mil : 630
- Les superficies cultivées ont tendu à se stabiliser dans le Bam et le Sanmatenga, malgré l'accroissement de population de +25 %.
- La sécurité alimentaire s'est améliorée : en année bonne, elle est passée de 67 à 88 % des exploitations, et en année mauvaise : de 35 à 44 %.
- Il y a eu une certaine diversification par le niébé et le coton à Ranawa, Ziga, Rissiam, Noh : c'est le signe que les efforts ne sont pas entièrement consacrés à la survie alimentaire.
- Sensibilité des rendements aux épisodes pluviométriques : les résultats ci-dessous montrent que la combinaison des aménagements de CES et du zaï permet de limiter les effets des déficits pluviométriques et de mieux profiter des années favorables.

*Rendements en céréales (kg/ha) en fonction des aménagements et du zaï.*

	Sans CES	CES seul	CES et zaï
Sorgho en année pluvieuse (1)	806	987	1031
Sorgho en année sèche (2)	373	301	700
Mil en année pluvieuse (1)	618	656	1040
Mil en année sèche (2)	363	406	-
(1) : 1996 ; (2) 1997			

Un autre paramètre pertinent est celui de la valorisation par les cultures des pluies tardives, de septembre et octobre (meilleur remplissage des grains). En comparant trois moyennes pluriannuelles (1984/88, 1898/95, 1996/2001), l'étude montre que dans trois provinces cette valorisation a crû dans des proportions sensibles : de + 410 à + 460 kg dans le Bam, + 510 à + 550 au Yatenga et + 380 à + 660 dans le Senmatenga.

La combinaison des aménagements CES et du Zaï a donc contribué significativement à sécuriser les productions vivrières.

**b) L'évolution des modes d'élevage :**

L'étude a mis en évidence une évolution des ressources fourragères : il y a plus d'herbes et de ligneux dans les aménagements, ainsi que plus de résidus de récolte. Entre 90 et 94, quand il y a eu mise en défens, il y eu régénération des herbacées (+137 %) et des ligneux (+19 %).

On a également observé que les paysans ont mieux conservé les pailles, et que plus d'animaux ont été gardés au village, en stabulation. Les conflits avec les Peulhs seraient en diminution, les Mossi reprenant leurs animaux en début de saison sèche.

Enfin le fumier est plus recherché par les agriculteurs : il a été vendu par les Peulhs au prix de 1 000 à 2 500 FCFA par charretée. On observe en outre une pratique de troc de fumier contre des pailles.

**c) Les sols et leur fertilité**

Les auteurs rapportent trois constats intéressants :

(i) les aménagements de CES se traduisent par une baisse sensible (43 %) du taux de sol nu

(ii) l'usage de la matière organique pour le zaï a progressé : au Yatenga, le nombre de parcelles en ayant reçu est passé de 50 à 80 % ; au Bam, de 27 à 64 % ; au Sanmatenga, de 8 à 38 %.

(iii) les quantités utilisées ont progressé sensiblement, comme le montre le tableau ci-dessous :

Quantités de matière organique et de NPK utilisées par ha.

	compost	fumier	NPK
Sans CES	64/86	62/608	1/49
avec CES (> 10 ans)	92/138	131/450	11/28

Les quantités appliquées sont certes très inférieures à celles recommandées (de l'ordre de 5 t pour la fumure organique, de 150 kg pour le NPK), et d'ailleurs au mieux un an sur deux, et généralement en cas de besoin. On est donc loin de pratiques susceptibles d'améliorer le statut organique ou minéral des sols, mais la tendance mérite d'être soulignée.

**d) Régénération naturelle assistée**

L'étude comportait le relevé botanique d'un transect par village ; elle a permis d'enregistrer :

(i) que la densité moyenne de ligneux était 126 pieds/ha avec CES contre 103 sans.

(ii) que leur diamètre est également plus élevé.

(iii) la repousse d'espèces disparues, comme *Diospyros mespliformis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia dudgeoni*, ainsi que le fait que la fructification a été menée à terme pour *Scelocarya*, *Butyrospermum*, *Lannea*...

(iv) la régénération est plus élevée dans les villages à densité de population élevée (de 30/40 : Sabouna, à plus de 100 : Ranawa, Ziga, Rissiam)

Les différences observées étant fréquemment spectaculaires, les résultats sont en général très convaincants.

**e) Disponibilité en eau**

Le comportement des puits après aménagement CES (enquête portant sur 103 puits modernes et 218 puits traditionnels) est dans l'ensemble plutôt favorable : la nappe phréatique est plus proche et elle tarit plus tard, si c'est le cas. Mais il y a des exceptions.

**f) CES et tenure foncière**

Plusieurs points ressortent de l'étude :

(i) Le statut foncier ne freine pas les aménagements CES : au contraire, la volonté d'aménager est maintenant conditionnelle pour l'obtention d'un droit de culture, avec peu ou pas de contribution préalable.

(ii) La durée des baux de culture a tendance à baisser de 10 à 3 ans.

(iii) Le droit d'héritage des migrants semble s'estomper progressivement.

Ces faits traduisent une précarisation des droits des candidats à la terre, qui sont incités à investir dans les aménagements CES sans assurance de pouvoir en bénéficier au-delà de la troisième année

**g) Les femmes et l'impact des aménagements**

L'étude conclut que les aménagements CES ont contribué à améliorer la production sur les parcelles des femmes, ainsi que leur sécurité alimentaire, ce qui leur a permis d'élever plus de volailles et de petits ruminants. Enfin la corvée d'eau a été allégée là où la nappe phréatique est remontée.

**h) La pauvreté en recul**

L'étude constate : que le taux d'émigration a beaucoup diminué (la CES semble avoir plutôt freiné les départs, qui se sont raccourcis de 4 à 2 ans, mais n'est pas un facteur décisif de retour au village), que les cultures se sont diversifiées, qu'il y a plus de bétail, que les revenus ont progressé, y compris ceux d'origine extra-agricole (de 28 à 40 %).

Dira-t-on pour autant que la pauvreté a reculé ? Pour y répondre, l'étude a défini trois catégories d'exploitants : riches (ceux qui ont plus de bétail) ; pauvres (en situation de déficit vivrier chroniques) ; moyens (entre les deux). Il en résulte que :

(i) les CES ont raccourci la période de soudure

(ii) réciproquement, la pauvreté semble avoir progressé dans les villages avec peu de CES

(iii) ailleurs, le nombre d'exploitations pauvres aurait baissé de moitié (Ranawa, Ziga, Noh, Kaartenga)

L'étude rappelle que, selon l'INSDI, qui caractérise la pauvreté sur le plateau central du Burkina par des revenus inférieurs à 73 000 FCFA/an et un régime alimentaire déficitaire en calories (< 2 300 cal./pers/jour), elle affectait 61 % de la population en 1998. Elle conclut que ce pourcentage serait très inférieur dans le cas des villages avec CES, alors qu'il serait égal pour les villages témoins.

**i) Des foyers d'innovations paysannes**

Les activités liées à la CES ont permis de promouvoir une quarantaine de « paysans innovateurs » spécialisés dans différents domaines, comme le zaï forestier, la diversification des cultures (riz, patate douce), l'intégration agriculture-élevage. L'étude a constaté qu'ils ont tous commencé par réhabiliter leurs *zippelés* et qu'ils ont tous atteint l'autosuffisance alimentaire.



## Annexe D

### La Kassine, porte-outils à traction animale pour le soutien à l'agriculture familiale dans les pays du Sud

Association PROMMATA – Janvier 2012

#### 1. Présentation de la Kassine

La Kassine a été développée par l'association française PROMMATA dans la continuité des travaux de Jean Nolle : elle a repris les innovations du Kanol (développé pour des paysans du Tchad) et notamment le « crochaxe », et celles de la Houe-sine, à traction souple (très utilisée au Sénégal). C'est un petit porte-outils léger (28 kg) et solide grâce aux pièces en acier renforcé sur les points les plus sollicités. Elle répond au principe de simplicité en étant fabriquée avec des matériaux communément trouvés dans tous les pays du monde, sans faire appel à des procédés industriels.

Elle est polyvalente : l'utilisation de tous les animaux de trait comme sa large gamme d'outils permet de réaliser de nombreux travaux, dans les conditions arides des pays sahéliens comme dans les rizières en régions tropicales... Ses principaux avantages résident en une traction souple par chaînes ou traits (mais il est aussi possible de l'utiliser en Kanol : traction rigide, avec des brancards ou un timon), un travail précis en rang étroit, et la possibilité de travailler sur le rang de cultures grâce au régulateur qui permet de déporter l'animal et à la deuxième roue qui permet d'enjamber la culture.

Enfin, sa fabrication et ses évolutions sont réalisées avec un objectif de standardisation, ce qui rend possible les échanges d'outils et de techniques entre les utilisateurs mais aussi entre les différents ateliers qui la fabriquent.



Vue générale de la Kassine

#### Description :

1. crochaxe : changement facile et rapide des outils.
2. barre à crans : réglage rapide du piquage de l'outil dans le sol. En réglant la barre sur les crans du haut on diminue l'angle de pénétration de l'outil.
3. guidon ajustable.
4. réglage vertical de la roue : obtention de l'alignement nécessaire entre la pointe de l'outil au sol, le point d'attache du régulateur et le point d'acrocche des traits au collier.
5. étriers : facilitent l'utilisation, le contre-écrou empêche le boulon de se desserrer.
6. clé unique pour tous les réglages réalisés rapidement

## Annexe E La fertilité des sols

### Les sols cultivables

Dans la Région, les sols considérés comme impropres à la culture (c.-à-d. aux cultures annuelles) présentent soit une pente excessive, soit une texture défavorable, ou bien sont peu profonds. Ils occupent des superficies importantes là où prédominent les modelés marqués par des collines, des cuirasses, des dômes éventrés qui occupent plus de la moitié de l'espace régional. Dans ces types de modelés, selon le GERES, cité par P. Dugué, les sols non cultivables recouvrent 40 % de l'espace.

Les sols cultivables se répartissent le long des glacis, selon des topo-séquences, dont nous avons donné deux illustrations à l'annexe A, entre glacis gravillonnaires, placages sableux et glacis argilo-sableux. Il existe deux autres types de sols : bruns eutrophes, au pied des collines birrimiennes, et hydromorphes, près des bas-fonds. Les premiers ne représentent que des superficies modestes, et les deuxièmes ne sont qu'assez rarement cultivés en céréales, à cause des risques d'inondation. Nous centrerons donc notre réflexion sur les sols dits ferrugineux tropicaux formés sur les glacis non gravillonnaires, puisque ce sont eux qui sont le plus cultivés en saison des pluies.

Leur texture est toujours à prédominance sableuse (70 à 90 %), avec des teneurs de limon et d'argile de l'ordre de 6 à 20 %. Leur capacité de rétention d'eau est donc faible, mais réciproquement la rétention au-delà de la capacité d'extraction des racines (pF 4,2) est modeste. Rappelons que la RUR (réserve utile racinaire) est faible :

*Réserves utiles racinaires cumulées de deux types de sols « ferrugineux tropicaux » en mm.*

Profondeur (cm)	Saria*	Karfiguèla**
0-20	17.9	15.5
20-40	40.1	26.1
40-60	61.5	34.8
60-80	61.5	56.4
80-100	102.3	76.6

\* sols à texture plus limoneuse    \*\* sols à texture plus sableuse

Ce sont donc des réservoirs à faible capacité, qu'il faudrait remplir fréquemment. Or, avec une ETP<sup>1</sup> de 6 à 7 mm/jour, ce réservoir se vide rapidement : les premiers jours après le semis, alors que les racines sont loin d'atteindre un mètre de profondeur, la RUR des 40 premiers cm est épuisée en une semaine si le sol est plus limoneux, en quatre jours s'il est plus sableux.

En termes de réserve hydrique, le GERES, cité par P. Dugué, considérait que 13 % des sols présentaient une réserve hydrique élevée, alors qu'elle n'est moyenne que pour 27 % d'entre eux et qu'elle est médiocre pour 20 %.

1- Évapotranspiration potentielle : la croissance des plantes peut être fortement limitée si l'ETR (réelle) est très inférieure à l'ETP.

La teneur en matière organique est très faible, toujours inférieure à 1 et souvent à 0,5. Deux conséquences majeures en découlent : (i) avec des teneurs en argile elles-mêmes faibles, la CEC (capacité d'échange cationique) est très insuffisante. Non seulement ces sols sont de mauvais réservoirs d'eau, mais ils sont de très mauvais « stockeurs » de nutriments ; (ii) la structure du sol tend à se dégrader, une des conséquences majeures étant la formation de la croûte de battance caractéristique des *zippelés*.

Dans les modes actuels de culture, les résidus (tiges, feuilles...) sont enlevés des champs pour servir de fourrage : il n'y a plus aucune restitution au sol de matière organique. Améliorer le statut organique des sols constitue donc un objectif majeur d'une approche agro-écologique.

Les teneurs en nutriments solubles sont très basses : P. Dugué rapporte les teneurs suivantes : N total : 0,3 à 0,8 % ; P assimilable (Olsen) : 4 à 17 ppm. Pour ce dernier élément, c'est un niveau de carence.

En résumé, ces sols : (i) sont en voie de minéralisation par non restitution de matière organique ; (ii) sont chimiquement pauvres en raison de la nature de la roche-mère dont ils sont issus et demandent des modalités de fertilisation adaptés à leur faible capacité d'échange.

## **Le travail du sol : la question du labour**

P. Dugué y a consacré des travaux conséquents dans les trois villages d'étude : Sabouna, Ziga et Boukéré. Les effets du labour (toujours en humide, bien entendu, et avec retournement) en termes d'ameublissement du sol et de contrôle des adventices y sont amplement confirmés. Toutefois, dans ces contextes semi-arides, il faut pouvoir semer le jour même du labour, ce qui suppose une disponibilité de main-d'œuvre familiale qui est loin d'être générale. Pour les autres, le semis est reporté à la pluie suivante, avec les risques subséquents pour le bilan hydrique des cultures. À l'époque (début des années 1980), l'option labour en traction asine n'était pas disponible, de sorte que le labour était limité aux familles disposant d'une paire de bœufs entraînés, soit une fraction mineure d'entre elles.

Entre-temps, des travaux d'autres chercheurs du Cirad (L. Seguy) ont conduit à remettre en cause le labour en conditions tropicales, en raison de la dégradation rapide de la matière organique qu'il provoque (humidité et aération des couches retournées). Ces mêmes chercheurs privilégient l'alternative de création et de maintien d'une couverture permanente du sol, connue sous le nom de SCV (systèmes de cultures sous couvertures végétales). Malheureusement, dans le contexte semi-aride (longue saison sèche) et la prévalence de la vaine pâture, les SCV peinent à trouver leur place en Afrique sahélienne, d'autant que l'emploi d'herbicides chimiques pose le problème de leur résilience dans les sols et les nappes phréatiques.

Pour l'ensemble de ces raisons, nous avons privilégié l'option « travail en sec à la dent », sous forme de zaï mécanisé, qui a en outre l'avantage d'une application localisée du compost.

## La fertilisation minérale et organique

La question est loin d'être tranchée.

P. Dugué, dans les trois villages d'étude, y a consacré de nombreuses enquêtes et expérimentations. Pour l'essentiel, ses conclusions sont les suivantes :

(i) **Les pratiques paysannes** : les paysans n'appliquent pas systématiquement l'engrais NPK recommandé par les services techniques ; ils le font à des doses très inférieures aux 100 kg/ha prescrits ; ils l'appliquent tardivement, plusieurs semaines après la levée, pour être assurés de ne pas les utiliser inutilement si les pluies s'avéraient insuffisantes ; la « poudrette de parc » est loin d'être utilisée systématiquement ; son apport organique est négligeable : le rôle fertilisant, directement lié à sa teneur en N, P et K, s'avère appréciable quand les conditions hydriques sont favorables.

(ii) **Les résultats des expérimentations** : l'application de NPK à la dose de 100 kg/ha conduit à des augmentations de rendements importantes et rentables, sous réserve qu'il s'agisse de sols peu dégradés (et sans doute suffisamment profonds) et si la pluviométrie est favorable. Dans les autres cas, les rendements obtenus ne couvrent pas les dépenses de fertilisants. Le Burkina Phosphate, qui ne libère que lentement du P soluble, n'a pratiquement aucun effet en première année, et cet effet est encore très modeste en deuxième. Dans ces conditions, les paysans sont peu motivés pour l'employer.

(iii) **En conclusion** : les conditions pour que la fertilisation minérale recommandée par les services techniques soit efficace et rentable sont très restrictives (certains types de sol) et aléatoires (pluviométrie favorable). La seule alternative organique disponible à l'époque, la poudrette de parc, n'offre pas suffisamment de résidus organiques pour jouer un rôle autre que de fertilisation minérale, elle aussi soumise aux aléas climatiques. L'utilisation systématique des résidus de cultures comme ressource fourragère limite sévèrement les possibilités de fabriquer des quantités significatives de fumier ou de compost.

## L'option agro-écologique

Dans ce contexte (zone semi-aride à forte densité de population et forte pression du bétail sur les espaces non cultivés), et à l'époque, les limites des recommandations de la recherche agronomique (labour, fertilisation minérale d'appoint, fertilisation organique lourde : 20 t/ha) étaient atteintes.

Depuis, la densité de population s'est sensiblement accrue, ainsi que la pression du bétail, la dégradation des sols a progressé. De quelles alternatives dispose-t-on pour enrayer les processus de désertification ?

(i) les aménagements (cordons pierreux) pour limiter le ruissellement sur les parcelles cultivées. C'est maintenant un processus massif, dont les effets positifs ont été reconnus et mesurés (voir annexe C) ;

(ii) le zaï mécanisé, en traction asine : la kassine permet non seulement la régénération des sols dégradés, mais aussi, dans les sols cultivés, la mise en œuvre plusieurs pratiques « anti-aléatoires » qui améliorent très efficacement le bilan hydrique des cultures ;

(iii) l'amélioration des composts en conditions paysannes, résultat des travaux de l'INERA, de l'ARFA et du CEAS ;

(iv) le petit élevage villageois, dans ses versions « aviculture » comme « petits ruminants » : la maîtrise par les paysans des principales pathologies ouvre des perspectives jusque-là inédites de développement de ces filières, sous réserve de disposer d'excédents céréaliers et fourragers ;

(v) le maraîchage paysan et les cultures fruitières, qui ont connu des développements très importants.

On sait donc beaucoup mieux qu'à l'époque maîtriser l'eau à la parcelle, avec des moyens à la portée du plus grand nombre : par rapport au zaï manuel, avec l'apport localisé d'une microdose de NPK, on peut espérer atteindre un surcroît de production par ha de 800 kg de grains de céréales et 3 tonnes de pailles et de feuilles.

Au niveau actuel de superficie cultivée par actif (0,65 ha), cela représente une augmentation de la productivité du travail de 520 kg de grains et 2 t de résidus organiques. Si notre hypothèse d'accroissement de duplication de la superficie cultivée par actif par régénération des sols dégradés se vérifie, la productivité du travail, accrue de 10 q de grains et de 4 t de résidus organiques, passe à 14 q<sup>2</sup> pour les premiers et à 7,5 pour les deuxièmes. On franchit ainsi trois seuils essentiels :

- on sort de l'insécurité vivrière (4 q par actif) et on dispose d'un excédent céréalier de l'ordre de 10 q, qui permet des revenus financiers directs et une valorisation par l'aviculture
- on dispose d'excédents organiques utilisables dans l'élevage de petits ruminants et pour la fabrication de composts (il faut entre trois et quatre tonnes de résidus pour fabriquer 5 tonnes de compost amélioré)
- on dispose d'une quantité plus importante de fécès issus du petit élevage, la composition des composts peut être notablement améliorée.

On voit se dessiner ainsi un scénario « vertueux » pour les parcelles cultivées, conforme aux objectifs généraux de l'agro-écologie, que nous rappelons ci-dessous.

Ce n'est donc qu'une première étape, les deux suivantes devraient donner lieu aux travaux suivants : (i) agroforesterie assistée par le renforcement des symbioses racinaires, pour laquelle nous formulons des propositions ; et (ii) aménagement et gestion durable des espaces non cultivés, qui constituent un chantier à ouvrir.

#### **Définition de l'Agro-écologie (Gliessman, Altieri)**

Selon Gliessman (1998), l'agro-écologie s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels et des formes traditionnelles d'agriculture : dans ces systèmes, la productivité de la végétation est importante, due à l'efficacité des organismes vivants dans le recyclage des nutriments (Altieri, 1998). Les concepts et principes de l'écologie appliqués à l'agriculture sont :

- Le recyclage de la matière organique dans un système fermé pour limiter les pertes de nutriments.
- La diversité d'espèces liées par des relations à bénéfices mutuels (symbiose, complémentarité).
- La forte productivité de biomasse du milieu.

---

2- Rendement / ha interannuel de référence pour le mil et le sorgho : 630 kgs (moyenne des données de l'étude Reij et Thiombiano et des statistiques du MINAGRI pour 2010, ce qui conduit à une productivité du travail de 400 kg (0,65 ha cultivé par actif).

## Annexe F

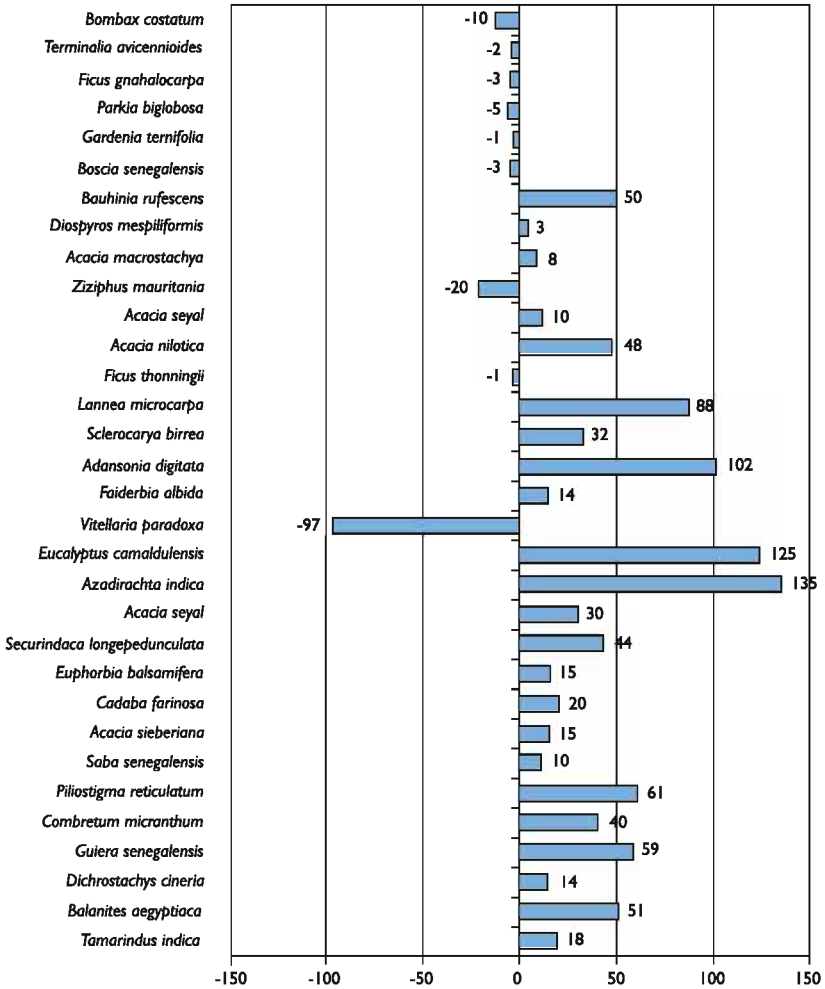
## Espèces ligneuses rencontrées à Ziga (Yatenga).

Noms en mooré	Noms communs	Familles	Noms scientifiques	Habitat Sols	Usage alimentaire	Autres usages*
Pousgo	Tamarinier	Césalpiniacées	<i>Tamarindus indica</i>	Sols lourds drainés	Condiment (f Fe) Boisson (fr VitC)	Laxatif (fr) Bois, coagulant
Kègléga	Balanites	Balanitacées	<i>Balanites aegyptiaca</i>	Varié	Fourrage (chèvres)	
Gongnimngo		Mimosacées	<i>Dichrostachys cineria</i>	Sols lourds	Fourrage (f + fr)	
Wilinwiga		Combrétacées	<i>Guiera senegalensis</i>	Sableux épuisés	Fourrage (f + fr) Apiculture	
Kuiguenga		Combrétacées	<i>Combretum micranthum</i>	Dégradés, cuirassés	Fourrage (f:pr)	Rotin ; liens
Baguendé		Césalpiniacées	<i>Piliostigma reticulatum</i>	Varié	Boisson (fr : ac.tartrique)	Ec : tanin Bois
Waidga	(liane)	Apocynacées	<i>Saba senegalensis</i>	+/- ripicole	Fr très apprécié	Latex coagulant Teinture (fl fe ram)
Gourponsgo		Mimosacées	<i>Acacia sieberiana/polyacantha</i>	Sols frais et riches	Fourrage	Haies Bois Colle
Zilga	(arbrisseau)	Capparidacées	<i>Cadaba farinosa</i>	Sols variés	Condiment (Ec fe) Pâtisserie (fl)	Liens Cordages (ec)
Bêrêna		Euphorbiacées	<i>Euphorbia balsamifera</i>	Sols sablonneux	Galactologues (fe)	Haie vive Latex toxique
Pêlêga	(fleurs roses)	Polygalacées	<i>Securindaca longepedunculata</i>	Latérites et rochers	Condiments (fl)	Racines venimeuses
Gonpêlga		Mimosacées	<i>Acacia seyal</i>	Bas de pente	Fourrage (fe fr) Gomme arabique Apiculture	Tannage (ec)
Neem	Neem	Méliciées	<i>Azadirachta indica</i>	Tous types	Apiculture	Teinture (fe) Parfum (fl)
Ecalbtisse	Eucalyptus	Myrtacées	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Tous types		Bois Eucalyptol (fe)

Noms en mooré	Noms communs	Familles	Noms scientifiques	Habitat Sols	Usage alimentaire	Autres usages*
Taanga	Karité	Sapotacées	<i>Vitellaria paradoxa</i>	Tous types	Apiculture	Beurre (amande) Cosmétique Bois
Zaanga		Mimosacées	<i>Faidherbia albida</i>		Fourrage (fe) Apiculture	Bois Tannage (Ec)
Toèga	Baobab	Bombacacées	<i>Adansonia digitata</i>	Sols variés	Condiment (fe) Boissons (pulpe)	Cordages (Ec) Teinture (rac)
Nobga		Anacardiacées	<i>Sclerocarya birreal/Spondia b.</i>	Sols sableux	Pulpe comestible Amande comestible	Bois Cordages (ec)
Sanbga	Raisinier	Anacardiacées	<i>Lannea microcarpa</i>	Sols variés	Fruit très apprécié	Bois, cordages...
Kamsongo	Epiphyte	Moracées	<i>Ficus thonningii/Urostigme</i>	Galerie forestières		Arbre à palabres
Pinguenga		Mimosacées	<i>Acacia nilotica/Mimosa scorp.</i>	Sols mal drainés	Fourrage	Haies Bois très dur Tannin (Ec + fr)
Gon-miiga		Mimosacées	<i>Acacia seyal</i>	Sols mal drainés	Fourrage Apiculture	Gomme arabique
Mougounougo	Jujubier	Rhamnacées	<i>Ziziphus mauritiana</i>	Variés	Fourrage	Enclos Bois Tannage (Ec)
Zamnga		Mimosacées	<i>Acacia macrostachya</i>	Sols variés	Apiculture	Poison (Ec)
Gaanka		Ebenacées	<i>Diospyros mespiliformis</i>	Variés	Pulpe consommée	Bois charpentes
Tipoèga	Bauhinia	Césapiniacées	<i>Bauhinia rufescens</i>	Sols secs, divers	Fruits comestibles	Bois charpentes Ec : liens, tanins

\* autres qu'en pharmacopée  
 La liste des espèces provient de KABORE WTT (2005)  
 Les caractéristiques (habitat, usages alimentaires, autres) sont extraits de Michel ARBONNIER (2002) :  
 « Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest », CIRAD-MNHN

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux



Évolution des espèces ligneuses à Ziga.

« Partant de nos observations et de nos résultats d'enquêtes, on observe de façon générale une reprise du couvert végétal. Toutefois, ce couvert reste typique des savanes arborées et arbustives claires de la zone soudanienne. La figure ci-dessus présente effectivement la régénération de diverses espèces (*Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Adansonia digitata*, *Lannea microcarpa*, etc.). À l'opposé, des espèces comme *Vitellaria paradoxa* (karité), *Ziziphus mauritiana* (jujubier), *Bombax costatum*, etc. sont en régression. Cette régénération a deux origines : la régénération naturelle et la plantation (surtout pour *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Bauhinia rufescens*). Aux dires des paysans, les cordons pierreux



arrêtent les graines des espèces ligneuses et leur procurent un milieu longtemps humide et riche en éléments nutritifs juste en amont du cordon. La levée de la graine et la pousse de la jeune plante sont ainsi favorisées. En plus, certains arbres sont apparus dans des poquets de zaï et ont été protégés par les paysans, selon leurs dires. De plus, profitant de l'assistance des projets (fourniture d'essences exotiques), les paysans ont pu reboiser plusieurs de leurs parcelles. C'est le cas des espèces de *Bauhinia rufescens* et *Eucalyptus camaldulensis* qui ont été introduits dans le village avec le projet Recherche-Développement et qui, depuis se sont répandus. Par contre, une espèce comme *Vitellaria paradoxa* (karité) disparaît plus qu'elle ne se régénère, ce qui fait d'elle une espèce menacée. Ainsi, en 20 ans sur une superficie de 57 ha, près de 100 pieds de karité ont disparus. Par ailleurs, tous les 12 paysans enquêtés attribuent la disparition du karité à la péjoration climatique ou à l'assèchement du sol. Des raisons telles que la mécanisation et le labour ne sont pas évoquées pour justifier ces disparitions du karité. » Extrait de KABORE WTT (2005).

## Annexe G

### *Moringa oleifera*

*Moringa oleifera* (famille des Moringacées) est familier des savanes ouest-africaines depuis son introduction d'Inde au XVI<sup>e</sup> siècle.

Ses feuilles ont des teneurs exceptionnelles en protéines, en fer et en provitamines A et C, ce qui leur confère des qualités nutritionnelles exceptionnelles : séchées et broyées, elles constituent un complément alimentaire très apprécié dans les Centres de régénération nutritionnelle (CREN), qui accueillent des enfants gravement dénutris. Elles sont aussi un excellent complément fourrager pour les volailles et les petits ruminants. Elles servent aussi de condiment dans la cuisine.

Il connaît un fort développement dans plusieurs pays, dont le Burkina et le Ghana. Il devrait trouver sa place dans les concessions villageoises, où il peut facilement être arrosé en saison sèche et protégé des animaux en divagation.



Moringa planté dans l'enclos d'un poulailler traditionnel amélioré (AVSF Togo).



Valeur nutritionnelle comparée des feuilles sèches de Moringa.

Source : Moringa News.



## Partie IV

# Gestion durable des terres : restauration, conservation, protection et valorisation



# Aménagements hydrauliques innovants pour la gestion conservatoire des eaux et des sols sur le tracé de la Grande Muraille Verte

*JEAN ALBERGEL*  
Directeur de recherche IRD, UMR 144 LISAH, Nairobi – Kenya

*SALIF DIOP*  
Professeur à l'Université Cheikh Anta Diop,  
Académie des Sciences du Sénégal et Académie africaine des Sciences  
Chef de la Section des Écosystèmes  
Division de l'Évaluation scientifique et de l'Alerte rapide (DEWA)  
Programme des Nations unies pour l'Environnement (UNEP) Nairobi – Kenya

## Introduction

De Dakar à Djibouti, la Grande Muraille Verte (GMV) traverse au nord de l'isohyète 1 000 mm les bassins versants des fleuves Sénégal, Niger, Volta, Logone, Chari et Nil. Serpentant entre les parallèles 15° et 10°Nord, à peu près à mi-distance entre l'équateur et le tropique du Cancer, elle s'étend sur des versants arides ou semi-arides du Sahel, recoupe les bas-fonds de petites rivières souvent endoréiques et croise les plaines alluviales et les lits des grands fleuves, ou de leurs principaux affluents (fig. 1).

Le second objectif général assigné à la GMV est « la mise en valeur intégrée des zones dégradées du Sahel en vue d'une gestion durable des ressources naturelles » <http://www.grandemurailleverte.org>. Les deux premières ressources naturelles qui soutiennent l'ensemble des activités humaines dans la région sont l'eau et le sol (Marter and Gordon, 1996). Avec les couverts végétaux, les sols (Eswaran *et al.*, 2011) et l'eau sont les ressources naturelles qui ont connu la plus forte dégradation dans les 30 dernières années dans toute l'Afrique subsaharienne au nord de l'isohyète 1 000 mm (IAASTD, 2009).

Pour une restauration des ressources en eau et en sols en vue d'une gestion conservatoire, le projet de GMV propose en plus de la reconstitution d'un couvert végétal protecteur des aménagements de petite et moyenne hydrauliques. Dans les attendus

### Le projet de « Grande muraille verte »

7 100 km de verdure du Sénégal à Djibouti pour contrer la désertification



Figure 1.

Le tracé de la Grande Muraille Verte : 7 000 km de Dakar à Djibouti.

de ce projet est noté en point 9 : « la maîtrise des ressources en eau, à travers la mise en place de bassins de rétention, de lacs artificiels et d'ouvrages hydrauliques qui contribuera à l'amélioration des systèmes de production ».

Depuis une trentaine d'années, de nombreuses expériences d'aménagements hydrauliques ont été menées par différents acteurs, qu'il s'agisse d'initiatives privées, de projets d'organisations non gouvernementales (ONG), de programmes nationaux ou régionaux financés par les bailleurs du développement en Afrique subsaharienne. La recherche agronomique d'abord puis l'ensemble des disciplines concernant la recherche pour le développement se sont intéressées, dès le début des années 1990, à ces aménagements pour analyser leurs impacts sur les systèmes de production, sur l'environnement et pour améliorer leur efficacité (Albergel *et al.*, 1993 ; Roose, 1994 ; Lavigne Delville et Camphuis, 1998). Depuis, de nombreuses études ponctuelles ou régionales sont venues confirmer, préciser ou améliorer ces premières synthèses (Bangoura, 2002 ; Vohland and Barry, 2009 ; Albergel, 2012).

Après une description des conditions géomorphologiques et hydroclimatiques de la bande de terre occupée par la GMV, ce chapitre présente les principaux aménagements de petite et moyenne hydrauliques qui ont fait leur preuve sous ces latitudes. Il s'intéresse aux aménagements de gestion conservatoire des eaux et des sols sur les versants et aux aménagements de mobilisation et d'usage de la ressource en eau des bas-fonds. En ce qui concerne les grands fleuves, leurs affluents et leurs plaines alluviales, les aménagements hydrauliques sont de grands ouvrages mis en place par les politiques nationales de mobilisation des ressources en eau pour la distribution de l'eau potable, l'irrigation et la production d'énergie. Ils ne sont pas abordés dans ce chapitre.

## Le contexte naturel et humain

La GMV effectue le premier tiers de son parcours sur le bouclier ouest-africain, vieux socle pénéplané à une altitude qui ne dépasse pas 500 m. Elle démarre à l'ouest du continent sur des zones sédimentaires tertiaires et quaternaires du bassin sénégal-mauritanien. Elle traverse les formations gréseuses du précambrien supérieur qui couvrent toute la frange sud du bassin sédimentaire de Taoudénit, situé au nord-ouest du Mali, les formations métamorphiques du précambrien moyen et supérieur au Burkina Faso, puis la frange nord du bouclier nigérian. À l'est du Niger et au Tchad, elle s'étend sur les formations lacustres du pléistocène terminal et de l'holocène, reste essentiellement dans les formations sédimentaires quaternaires au Soudan. Elle rentre enfin dans la Corne de l'Afrique, au nord des montagnes éthiopiennes érigées lors de la formation de la vallée du Grand Rift, contourne le massif du Siemen, plonge vers le sud au pied de l'immense escarpement séparant les massifs montagneux de la Mer Rouge et débouche à Djibouti sur l'Océan indien (description réalisée à partir de la carte géologique de l'Afrique, G. Choubert et A. Faure-Muret, CCGM, 1990-1995).

Vu les différentes formations géologiques traversées, il est difficile de définir simplement tous les caractères géomorphologiques propres de cette longue bande de terre qui s'étend d'un océan à l'autre. On peut seulement signaler l'importance des dunes fossiles et la fréquence des mares temporaires de saison humide, qui définissent un paysage relativement homogène sur tout le parcours de la GMV. Excepté les grands fleuves d'origine allochtone cités en début de ce chapitre, le réseau hydrographique dans la GMV est constitué de cours d'eau éphémères, affluents temporaires ou débouchant dans des mares endoréiques. Les services écologiques de ces mares sont très importants et ont été étudiés dans le cadre d'un grand programme multidisciplinaire au nord du Burkina Faso (Chevallier *et al.*, 1985 ; Claude *et al.*, 1991). Certaines de ces mares retiennent de l'eau jusqu'au printemps et forment des oasis avec une végétation ligneuse abondante. Tout aménagement doit prendre en compte les services écosystémiques rendus par ces zones humides.

Les sols du Sahel africain sont caractérisés par des altérations épaisses s'intercalant entre la surface et la roche saine. Selon la classification française des sols, on distingue : (1) des sols évolués sub-désertiques et des sols isohumiques bruns subarides ou brun rouge subarides dans les régions les plus septentrionales de la GMV (sud de la Mauritanie, nord du Sénégal) ; (2) des sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés lorsque la GMV suit à peu près l'isohyète 500 mm ; (3) des sols ferrugineux tropicaux lessivés dans les régions plus humides.

La circulation générale de l'atmosphère au-dessus de la GMV dépend des hautes pressions tropicales et de l'équateur météorologique, dont les migrations saisonnières déterminent les caractéristiques des flux d'air et les types de temps résultants.

En hiver boréal, l'équateur météorologique, sous l'influence de l'anticyclone du Sahara, migre vers le sud jusqu'à la latitude 4° Nord bien au sud de la GMV. L'alizé dominant est continental, saharien : l'harmattan. Il se caractérise par une grande sécheresse, des amplitudes thermiques importantes entre la nuit et le jour. Il entraîne



une très forte évaporation et évapotranspiration potentielle. L'alizé issu de l'anticyclone des Açores est de direction nord à nord-ouest. Il est humide, frais et parfois froid. Malgré son humidité, ce flux ne produit que rarement des précipitations, qui restent localisées sur la partie la plus occidentale (pluies d'hiver au Sénégal). Son inaptitude à engendrer des précipitations tient au fait de la position trop basse de l'inversion d'alizé. Il est responsable d'humidité qui se dépose sous forme de rosée et des journées très claires de saison sèche. Sur la Corne de l'Afrique, l'alizé de nord-est apporte une humidité dans les zones montagneuses du nord de la Somalie, où les précipitations de la fin de l'automne peuvent faire monter le total annuel à 500 mm. Sur la côte est, les vents soufflent parallèlement à la côte et limitent ces précipitations.

En été boréal, le réchauffement de l'hémisphère nord entraîne l'installation d'une dépression thermique au Sahara et l'affaiblissement de l'anticyclone des Açores, qui migre vers le nord. Dans l'hémisphère sud, l'hiver austral renforce les anticyclones qui montent également vers le nord. Le Front Intertropical prend une position extrême proche de 20° Nord. La circulation aérienne s'inverse et prend une orientation sud-ouest. L'Afrique sahélienne est alors envahie par le flux de mousson. Ce flux de mousson résulte de l'alizé issu de l'anticyclone de Sainte-Hélène et dévié par la force de Coriolis en franchissant l'équateur. Son parcours maritime l'a chargé d'un grand potentiel d'eau précipitable. Son influence se fait sentir dans tout le Sahel : de mai à octobre, dans les régions les plus méridionales, la GMV pourra recevoir jusqu'à 800 mm de pluie certaines années ; et de juillet à septembre pour le Sahel le plus septentrional, qui ne reçoit que 200 mm au nord du Sénégal. Dans la Corne de l'Afrique, les plaines de Somalie et de Djibouti sont généralement arides malgré la proximité de l'équateur. Les vents d'ouest ont en effet perdu la plus grande part de leur humidité après avoir survolé le Sahel et le Soudan. L'ouest et le centre de l'Éthiopie, ainsi que l'extrémité sud de l'Érythrée, sont mieux exposés et reçoivent d'abondantes pluies en été (570 mm à Asmara). On peut considérer que globalement la GMV se situe dans tout son parcours entre les isohyètes 200 et 700 mm mais qu'elle se situe majoritairement entre 200 et 400 mm.

En fonction des précipitations, la végétation naturelle sur le parcours de la GMV sera une steppe à épineux plus ou moins dégradée dans ses parties les plus sèches et une brousse à parcs dans son parcours en zone humide. Le groupement végétal à *Acacia raddiana* est très répandu sur les substrats sableux dans les zones les plus sèches de la GMV. La dégradation du couvert végétal est marquée par l'extension de *Balinites Aegyptiaca* pour le couvert arboré et de *Cenchrus biflorus* (cram-cram) pour le tapis herbacé où il se substitue à *Chloris prieuri* et *Schoenfeldia gracilis*. Les parties moins arides de tracé de la GMV sont caractérisées par deux types de groupements végétaux : le groupement à *Acacia seyal* sur sols argileux et le groupement à *Combretum glutinosum* sur sol plus léger.

Sur tout le parcours de la GMV, les habitants sont surtout des éleveurs, nomades, semi-nomades ou récemment sédentarisés. Elle traverse des zones de pastoralisme transhumant (Peuls, Daza, Zaghawa, Beja, Afar, Touaregs, Baggara, Somali, Afars, etc.) avec de grands troupeaux parcourant de petites distances lors de la transhumance saisonnière. La GMV croise également des villages où la vie

sédentaire est rendue possible par les activités agricoles. Les cultures sont surtout céréalières : mil, sorgho, fonio. La culture du riz ou du maïs peut se faire dans et en bordure des bas-fonds. Les systèmes sédentaires et éleveurs cohabitent et sont en concurrence pour l'utilisation des bas-fonds et des ressources en eau. Sur les terrains défrichés, certaines espèces d'arbres sont conservées en raison de leur utilité. Les corps gras sont fournis par les fruits du karité, arbre non cultivé mais protégé. *Acacia Albida* et *Adansonia digitata* sont aussi conservés, le premier comme fixateur d'azote pour les cultures de céréales, le second pour ses produits : fruits, feuilles, écorces...

C'est dans ce cadre naturel et humain que doivent être conçus les aménagements de petite et moyenne hydrauliques.

## Aménagements conservatoires de petite et moyenne hydrauliques

Dans les années 1990, de nouveaux concepts sont apparus dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Malin Falkenmark (1995) a identifié trois types d'eau :

- L'eau bleue : l'eau qui peut être stockée dans des réservoirs de surface ou pompée dans les nappes phréatiques. Les réservoirs de surface sont alimentés par le ruissellement superficiel ou par la résurgence de nappes phréatique. Les nappes phréatiques sont alimentées par la partie de l'infiltration qui n'est pas reprise par l'évapotranspiration des plantes.
- L'eau verte : l'eau stockée dans le profil des sols et directement utilisée par la végétation pour la production de biomasse
- L'eau virtuelle : l'eau contenue dans les produits échangés ou commercialisés, qu'il s'agisse de produits agricoles ou de productions manufacturées.

Les évaluations classiques des ressources en eau ne prennent pas en compte de l'eau verte, qui est une partie importante des ressources en eau sur les continents. Les besoins minimaux en eau par personne sont couramment estimés à 50 l par jour et par personne, soit  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$  (Gleick, 1996) lorsque l'on ne tient pas compte de l'eau pour la production des aliments et des objets de consommation courante. Rockström (2003) estime à  $1300 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$  la quantité d'eau nécessaire pour produire les aliments correspondant à un régime nutritionnellement acceptable. Si l'on considère  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$  d'eau bleue nécessaire pour satisfaire les besoins élémentaires d'un homme, une quantité d'eau 70 fois supérieure est indispensable pour le nourrir et provient soit de l'eau verte, soit de l'eau virtuelle.

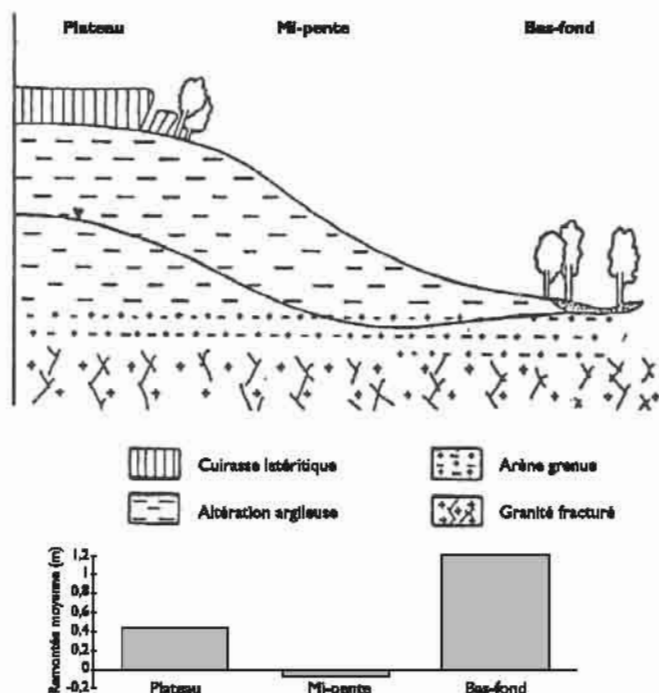
La conservation et la gestion de l'eau verte sont devenues un grand défi pour assurer la sécurité alimentaire. Dans ce cadre, les agences de développement ont lancé

l'idée de crédits « Eau Verte » comme moyen de paiement aux agriculteurs pour les services qui permettraient d'augmenter la disponibilité de l'eau verte.

Les crédits « Eau Verte », connus sous le nom de *Green Water Credits* (GWC), sont un mécanisme financier qui devrait permettre de rétribuer les agriculteurs ou leur donner accès au microcrédit en échange d'activités visant à améliorer la disponibilité en eau verte. Ces activités viseraient à réduire le ruissellement superficiel, source de dégradation des sols et d'envasement des lacs de barrages, et en à augmenter l'infiltration. Ces activités ne sont actuellement ni reconnues, ni rémunérées, mais offrent un potentiel d'une meilleure gestion du cycle de l'eau qui améliorerait la sécurité alimentaire, la santé publique et permettrait de prolonger la durée de vie des grands barrages. Ces crédits « Eau Verte » sont considérés comme une politique économique possible pour combattre les changements climatiques et environnementaux et s'y adapter. De modestes mesures de conservation des sols comme le labour de conservation, le paillage et les aménagements de petite et moyenne hydrauliques sont susceptibles de réduire le ruissellement et l'érosion et d'augmenter l'infiltration. Elles permettent d'améliorer les bilans en eau verte et l'accumulation d'eau bleue au travers d'une circulation souterraine. Cette circulation souterraine de l'eau permet sa purification ainsi que d'alimenter des réserves superficielles d'eau bleue dans une position basse dans la topographie sans apporter de sédiments. Comme la production de l'eau verte est associée à la production végétale, et limite l'envasement de barrages hydroélectriques, les crédits « Eau Verte » pourraient être couplés avec les crédits carbone et être négociés dans le cadre du marché du carbone dont les règles sont définies par les grands accords internationaux sur la limitation des émissions de gaz à effet de serre. (<http://www.worldchanging.com> David Zaks and Chad Monfreda, 2008).

La figure 2 présente dans la province du Yatenga (nord-ouest du Burkina Faso) une coupe géomorphologique d'un paysage très courant sur l'ensemble du territoire de la GMV. En haut de forme se trouve un plateau aux sols indurés (cuirasse latéritique). Il est relié au bas-fond par un long versant de forme d'abord convexe, puis concave. Le niveau piézométrique de l'année 1989 y est représenté après une saison des pluies 1988 favorable ; la recharge de l'aquifère a été estimée à l'infiltration d'une lame d'eau de 50 mm. Il fait apparaître un creux piézométrique en mi-pente des versants qui correspond à un déficit d'alimentation de la nappe aquifère. Ce déficit local dans l'infiltration et l'alimentation hydrique de l'aquifère doit être mis en relation avec la dégradation des versants et l'existence de sols nus encroûtés sur les chanfreins qui bordent les bas-fonds (Albergel *et al*, 1993).

Cet exemple et les indications précédentes sur la nécessité d'améliorer la disponibilité en eau verte montrent que l'on doit s'intéresser de manière différente à ces trois segments de paysage. Sur le plateau, l'infiltration qui est déjà bonne sera améliorée par une bonne conservation, voire restauration des couverts arborés. La savane arborée permet la fracturation des cuirasses latéritiques et augmente la fertilité des sols pas très riches. Sur les versants, la végétation est généralement une savane arbustive très dégradée avec de nombreux champs de culture. Cette dégradation est due à une érosion hydrique et éolienne importante, facilitée par les labours et le piétinement des troupeaux. Cette dégradation conduit à de fortes érosions et à l'encroûtement



des surfaces dénudées sur lesquelles les ruissellements sont très forts et atteignent localement 90 % de la lame précipitée. Des aménagements hydrauliques sont nécessaires pour réduire le ruissellement, augmenter l'humidité localement. Ils permettent une revégétalisation raisonnée et l'augmentation des rendements agricoles. Enfin, les bas-fonds qui récupèrent à la fois les eaux de ruissellement et celles qui circulent dans la nappe phréatique sont les lieux où la remontée des eaux souterraines est la plus importante. La stratégie d'aménagement vise alors soit l'épandage des eaux pour augmenter les surfaces cultivées en saison des pluies, soit sa conservation pour l'utiliser plus tard durant la saison sèche.

Les aménagements de petite hydraulique concernent plutôt les versants, leur forme doit être adaptée au climat, à l'utilisation des terres et à leur position sur le versant. Il s'agit d'améliorer localement la disponibilité en eau verte pendant la saison des pluies. Les aménagements de moyenne hydraulique sont adaptés aux bas-fonds ou aux pieds de versants proches des bas-fonds. Ces aménagements sont utilisés pour gérer des eaux bleues dont une partie est transformée très vite en eau verte par épandage ou plus tard par irrigation.

## Aménagement de versants

La dégradation s'exprime sur les versants sahéliens par une érosion hydrique importante. Dans les parties hautes des toposéquences, le ruissellement généralisé diffus est à l'origine d'un tri sélectif des particules en surface du sol et de son « glaçage » par la formation d'une croûte de ruissellement (Casenave et Valentin 1989) qui réduit l'infiltration. Aux ruptures de pentes, le ruissellement se concentre et prend de la vitesse ; il est à l'origine de ravinements et de dépôts de sables localisés ennoyant les couches fertiles. Cette dégradation hydrique aggravée par l'érosion éolienne de saison sèche entretient la chute du statut organique du sol et interdit toute amélioration de la productivité végétale naturelle ou cultivée (Sene, 1995). Des techniques simples de gestion de l'eau pluviale associées à des aménagements de petite hydraulique permettent de réhabiliter le milieu et d'améliorer les termes du bilan hydrique des cultures ou des zones de végétation naturelle. Des techniques simples de gestion de l'eau ont été mises en œuvre.

Cloisonner l'espace agricole en vue de traiter le ruissellement diffus (haies vives, cordons de pierres, banquettes en terre, fossés d'infiltration) et les écoulements concentrés (seuils filtrants, fascines anti-érosives...).

Améliorer l'infiltration par l'adoption de techniques culturales adaptées (labour en courbes de niveau, semis direct...) en zone cultivée, et par la mise en défens et la revégétalisation d'espaces de parcours aidée par des aménagements en demi-lunes, arêtes de poisson, etc.

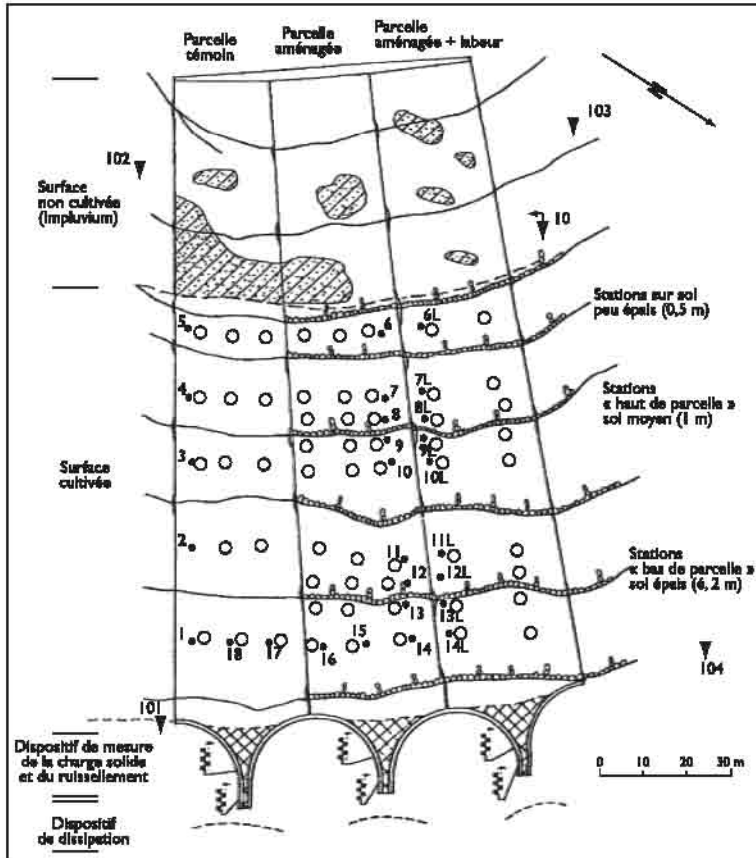
Assurer le développement d'un couvert végétal homogène et protecteur grâce à une amélioration de la fertilité des sols : utilisation de plantes fixatrices d'azote (exemple des parcs à *Faidherbia albida*, Peltier, 1996), apport de matière organique produite en bordure des champs dans des aménagements simples pour produire du compost.

La panoplie des aménagements ponctuels est bien connue et décrite dans de nombreux manuels scientifiques et/ou techniques. Un inventaire récent relativement exhaustif en est donné par Gomes *et al.* (2008) dans le cadre du programme européen AQUASTRESS, project (IP) contract n°511231-2. Nous présentons ici les impacts de ces aménagements sur les bilans de flux d'eau et de matière transportée à deux échelles différentes. La première échelle retenue est celle du champ de brousse ( $\pm 1$  ha) en prenant deux exemples expérimentaux, celui de Bidi dans le Yatenga burkinabé, qui teste l'efficacité d'un aménagement en cordons pierreux (Lamachère et Serpantié, 1991), et celui de Thyse Kaymor dans le Sine-Saloum sénégalais, avec des aménagements mixtes, « bandes enherbées, traitement de ravine » (Pérez *et al.*, 1997a). La seconde échelle présentée est celle d'un aménagement intégré de versant ( $\pm \text{km}^2$ ), mis en place également à Thyse Kaymor (Pérez *et al.*, 1998a).

### **Aménagement en cordons pierreux (Lamachère et Serpantié, 1991)**

Les bilans en eau et en transports solides ont été suivis pendant quatre années à Bidi-Samniweogo sur trois parcelles agronomiques installées sur un versant sableux dont la plus grande pente est de 2,5 %. Elles sont contiguës, trapézoïdales, longues

de 150 mètres et larges de 20 à 32 m (fig. 3). L'amont des parcelles est constitué d'un impluvium sur un tiers de la plus grande pente (1 250 m<sup>2</sup>), les deux tiers aval sont exploités par une monoculture de mil (3 100 m<sup>2</sup>). Celle-ci est mise en place par un semis direct en poquets aux premières pluies, avec éventuellement un second semis en cas de sécheresse en début de saison des pluies. Un premier sarclage est effectué au début du mois d'août et un second sarclage avant la floraison.



(Pente générale 2,5 %)

- |    |   |   |  |
|----|---|---|--|
| 3. | Point de suivi du profil hydrique et phénologie | — | Cordon pierreux (0,25 m)               |
| ○  | Station de récolte                              | ~ | Courbe de niveau (0,5 m)               |
| ▨  | Microbuttes sableuses                           | ▼ | Pluviomètre                            |
| —  | Têtes (0,2 m et 0,4 m)                          | ▼ | Pluviographe                           |
| —  | Murs (0,2 m)                                    | ~ | Limnigraphe et échelles limnimétriques |
| ▨  | Exutoire en béton                               |   |  |

Figure 3.

Plan d'ensemble du dispositif expérimental de Bidi-Sarniweogo (Lamachère et Serpantié, 1991).

La parcelle de gauche est utilisée comme parcelle témoin et est cultivée de manière traditionnelle. La parcelle médiane a subi un aménagement en cordons pierreux isohypses constitués d'une double rangée de blocs de cuirasse ferrugineuse (40 kg par mètre linéaire), espacés d'environ 20 mètres. Aucun cordon pierreux n'a été pose sur l'impluvium. La parcelle de droite est identique à la parcelle médiane, mais elle est labourée selon les courbes de niveau avec une charrue bovine attelée vers la fin du mois de juin.

Le tableau 1 compare les lames ruisselées et les quantités de sédiments exportés sur les trois parcelles au cours de trois années. Le ruissellement annuel est le plus fort dans la parcelle témoin, les cordons pierreux qui sont filtrants modifient légèrement la quantité ruisselée à l'exutoire la première année. Leur impact sur le ruissellement augmente avec le temps en fonction du colmatage des interstices entre les pierres. Par contre, le ruissellement diminue drastiquement sur la parcelle labourée en 1987, année pour laquelle le ruissellement annuel est 2,5 fois plus faible. Cette différence s'explique par l'occurrence de fortes pluies en juillet, juste après le labour.

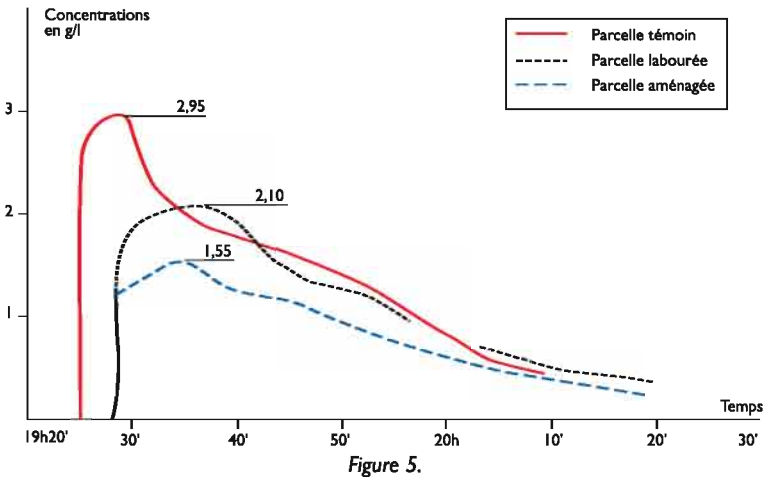
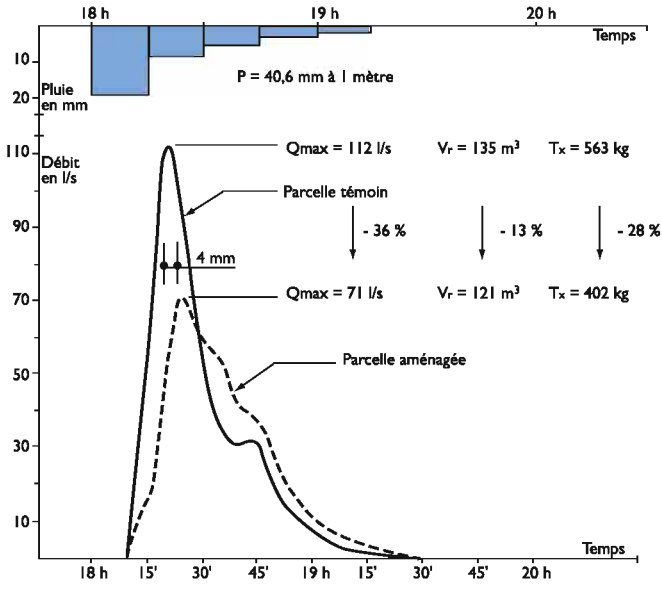
Tableau 1. Pluies annuelles et ruissellement sur les parcelles agronomiques (Lamachère et Serpantié, 1991).

Année	1986			1987			1988		
Variable	PU mm	Lr mm	TS Kg	PU mm	Lr mm	TS Kg	PU mm	Lr mm	TS Kg
P. témoin	530	127	1218	483	53	438	512	94	739
P. aménagée	528	124	634	484	42	138	510	51	232
P. aménagée + labourée				486	17	108	509	67	432

P : parcelle; Pu : pluie au sol; LR : lame ruisselée aux exutoires; TS : transport solide exporté.

L'effet des cordons pierreux est effectif dès la première année sur les transports solides. Le labour atténue l'impact de cet aménagement sur la quantité de sédiments exportés. En créant un obstacle au déplacement des flux liquides, les cordons pierreux les ralentissent, leur font perdre de leur compétence, de plus ils retiennent une partie des particules. Par contre, le labour ameublisse les sols et cela est favorable à l'érosion.

Pour mieux expliciter l'effet de l'aménagement pierreux sur le ruissellement, la figure 4 compare les hydrogrammes des crues observées le 13 juillet 1986 aux exutoires de la parcelle témoin et de la parcelle aménagée sans labours. L'averse totale avait une hauteur de 40,6 mm (mesurée à 1 m). Elle a duré 1 h 15 min Son intensité maximale sur une durée de 15 minutes était de 82 mm/h. On remarque une crue retardée (4 minutes entre les maxima de crue), un fort écrêtage du pic (39 %) sur la parcelle aménagée. Le volume ruisselé est inférieur de 13 % et la quantité de matériaux exportés de 28 % à ceux de la parcelle témoin. Le frein hydraulique induit par les cordons pierreux a pour effet de modifier la forme générale de la crue, d'augmenter l'infiltration et de retenir des sédiments, ainsi que de réduire la compétence érosive du ruissellement.



Le retard dans le déclenchement de la crue augmente avec le temps au fur et à mesure du colmatage des cordons pierreux. Ainsi, la figure 5 compare sur les trois parcelles, témoin, aménagée et aménagée + labourée, les concentrations en



transports solides pendant la crue du 15 août 1988 à leurs exutoires. On remarque que les pics de crue sont maintenant de 7 minutes. Les concentrations moyennes sont égales à 1,75 g/l sur la parcelle témoin, 0,98 g/l sur la parcelle aménagée et à 1,15 g/l sur la parcelle labourée.

Dans une étude d'impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en région sahélienne et nord-soudanienne du Burkina Faso, S. Ganaba (2005) montre que les aménagements en cordons pierreux ont eu un impact positif sur la reconstitution de la végétation ligneuse.

### Traitement des ravines et haies vives

Sur des surfaces de versants supérieures aux parcelles que nous venons de décrire et réunissant plusieurs champs (quelques hectares), Pérez *et al.* (1998a) ont analysé l'impact d'un aménagement rural associant le traitement des ravines par des cordons pierreux et des fascines et une haie vive dans la zone arachidière du Sine Saloum au Sénégal (fig. 6). Sur deux grandes parcelles de 2,5 ha chacune, Ndiba et Yarane, les bilans hydrologique et en matières solides ont été suivis de 1985 à 1992,

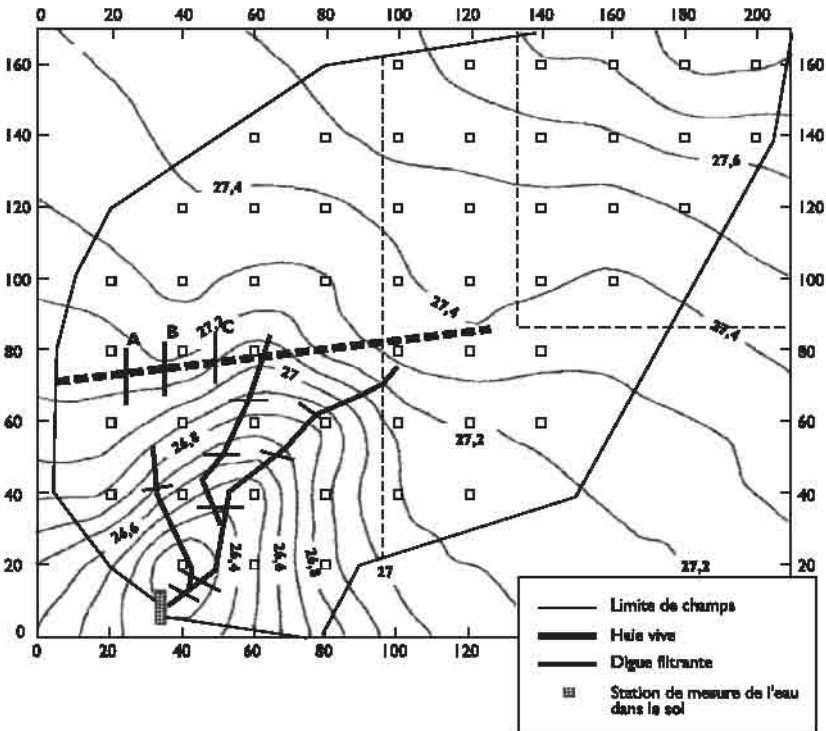


Figure 6. Aménagement et dispositif expérimental à Ndiba (Pérez *et al.*, 1998a).

l'aménagement a été mis en place en 1987. À partir de 1989, un suivi spatialisé des bilans hydriques a été mis en place avec l'implantation de tubes pour sondes à neutrons disposés sur une grille carrée de 20 m de côté et de placettes de mesure du ruissellement et de l'érosion. Les mesures à l'exutoire permettent de se faire une idée de l'efficacité globale de l'aménagement, alors que le dispositif spatialisé permet de comprendre l'impact de chaque élément de cet aménagement.

Pérez *et al.* (1998a) vérifient que la distribution des pluies journalières était identique pour les deux périodes (avant et après aménagement), même si la seconde période est plus pluvieuse. Ils présentent les bilans en eau et en matière associée suivant trois périodes : 1985-1987 – avant aménagement –, 1988 – mise en place de l'aménagement – et 1989-1992 – après aménagement (tabl. 2). On remarque un effet sensible de l'aménagement sur le ruissellement. Le nombre d'épisode ruisselant diminue de 9 % sur Ndiba et de 15 % sur Yarane. Les coefficients de ruissellements diminuent significativement. À l'exutoire du bassin versant de Ndiba, les transports solides ont été correctement mesurés pour 25 crues dans la période avant aménagement (1985-87) et 28 après aménagement (1989-92) et estimés par un modèle simple pour les événements où la mesure n'a pas été faite correctement. La diminution des pertes en terre est significative entre les deux périodes, 13 955 kg avant aménagement à 2 967 kg après aménagement. La même différence a été mesurée pour les événements les plus érosifs dans chaque période ; 4 924 kg pour un index d'érosivité R=96 unités USA lors d'une crue de juillet 1986 avant l'aménagement et 912 kg pour un index d'érosivité R=98 unités USA lors d'une crue de juillet 1990 après l'aménagement. Le taux spécifique de perte en terre est donc passé de 1,9 t/ha/an à 0,3 t/ha/an comme effet de l'aménagement.

Tableau 2.  
Bilans hydrologiques annuels sur deux petits bassins de la ceinture arachidière du Sénégal  
(d'après les données de Albergel et Pérez).

Période	Nb de pluies	Nb de crues	Lame précipitée totale mm	Index d'érosivité	Lame ruisselée mm	Coef. ruissellement %
<i>Parcelle de Ndiba 2,5ha</i>						
Avant (1985-1987)	129	40	2057,7	900	87,1	4,2
Pendant (1988)	50	18	91,5	445	40,1	4,3
Après (1989-1992)	154	36	2339,7	1092	60,2	2,6
<i>Parcelle de Yarane 2,5ha</i>						
Avant (1985-1987)	88	33	1361,4	542	159,8	11,7
Pendant (1988)	49	13	917,3	434	68,3	7,4
Après (1989-1992)	154	36	2288,2	1046	221,7	9,7

La variabilité de la réserve en eau dépend sur la parcelle de Ndiba de la topographie, des états de surface et de la nature des sols. Une procédure automatique d'ajustement de distribution des réserves hydriques des sols a été établie et une cartographie automatique de cette variable a été établie pour différentes dates. Une fonction de distribution normale est ajustée aux réserves en eau du sol mesurées sur tout son profil de 0 à 150 cm de profondeur. Un modèle sphérique dont le semi variogramme

à une portée de 50 m est utilisé pour cartographier les réserves en eau des sols. La figure 7 montre l'impact de la présence de la haie vive sur l'infiltration tout au long de la saison des pluies.

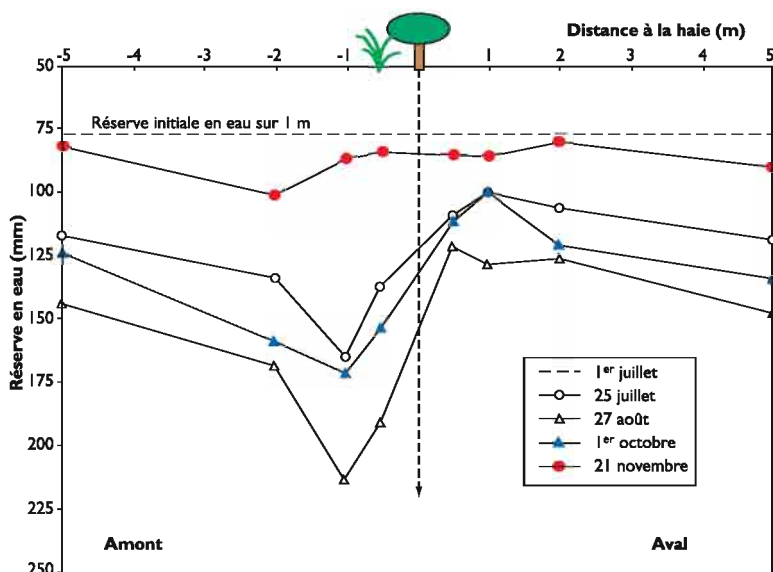


Figure 7. Évolution de la réserve hydrique en amont et en aval d'une haie vive.

### Aménagement intégré d'un versant (km<sup>2</sup>) (Albergel *et al.*, 2000)

Albergel *et al.* (2000) ont montré la pertinence d'un aménagement d'embocagement d'un versant en zone sahélienne comprenant : des reboisements avec des aménagements en arêtes de poisson, des mises en défens sur le plateau, un cordon pierreux en bordure du talus, des haies vives sur les glacis et les terrasses, et le traitement des ravines qui entaillent les berges de raccordement terrasse/bas-fond. Les critères d'efficacité ont été limités aux paramètres hydrologiques mesurés à l'exutoire. Pour ce faire, la méthode des bassins versants appariés a été utilisée : deux bassins de ravines, drainant l'ensemble des unités de la toposéquence, ont été suivis en conditions naturelles pendant une période initiale (1983-1988), puis l'un des deux a été aménagé en cours d'étude (1989-1990). Les observations se sont poursuivies jusqu'en 1995. Cette méthode repose sur l'hypothèse implicite de constance d'autres facteurs évolutifs sur le domaine d'étude.

Les deux bassins étudiés sont ceux de deux petites ravines, affluents de premier ordre, démarrant en bordure de plateau et entaillant les glacis de raccordement au marigot : Keur Dianko et N'Dierguène dont les exutoires sont distants de 4 km environ. L'aménagement de Keur Dianko est représenté sur la figure 8.

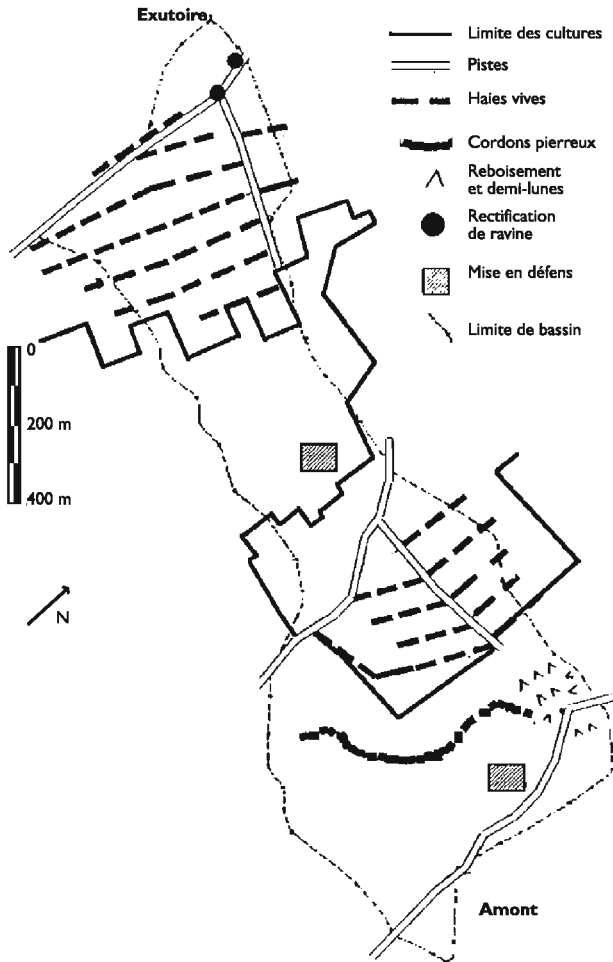


Figure 8.  
Aménagement intégré de versant à Keur Dianko (Pérez et al., 1998b).

La figure 9 compare les bilans hydrologiques annuels sur ces deux portions de versant. Les coefficients de ruissellement sont toujours supérieurs sur le bassin témoin. Après la mise en place des aménagements (1988-91), la différence d'aptitude au ruissellement diminue nettement sur le bassin aménagé. En séparant la période d'observation en trois parties :

- avant aménagement (5 années) : la lame ruisselée de Keur Dianko est égale à 52 % de celle du bassin témoin,
- durant la période de mise en place de l'aménagement (3 années), ce rapport passe à 56 % et semble montrer une perturbation du milieu sur le bassin versant expérimental, avec une légère hausse du ruissellement (mais non significative),

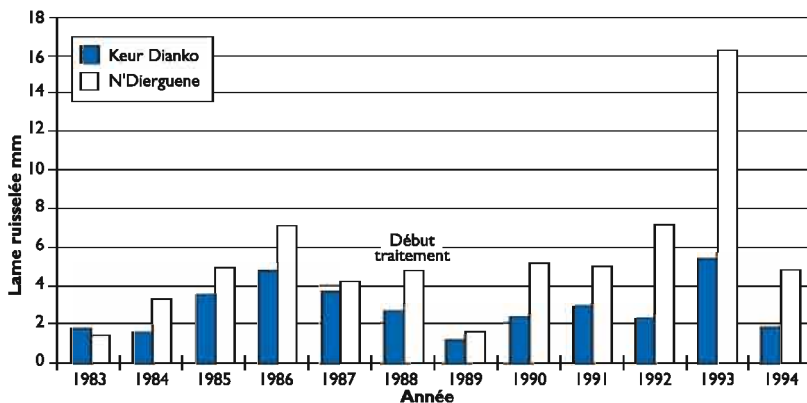


Figure 9.  
 Comparaison des coefficients de ruissellement de 1983 à 1995  
 sur les ravines de Keur Dianko (KD) et de N'Dierguène (ND)  
 (Albergel et al., 2000).

– après la mise en place de l'aménagement (5 années) : la lame ruisselée du bassin aménagé n'est plus que de 36 % de celle du bassin témoin.

L'aménagement a un rôle d'autant plus fort sur le bilan en eau et en matières solides transportées que l'année comporte des ruissellements importants : en 1991, les transports solides sont équivalents sur les deux bassins (environ 650 kg/ha) ; en 1992, ils sont de 488 kg/ha pour le bassin aménagé et de plus de 1 tonne/ha sur le bassin témoin ; en 1993, où l'événement exceptionnel des 4 et 5 août (179 mm en 24 heures) est à l'origine de près de 50 % de l'érosion annuelle, les transports solides sont de 1,5 t/ha sur le bassin aménagé et de 3,5 t/ha sur le bassin témoin ; en 1994, année de faible pluviosité, ils sont légèrement plus faibles dans le bassin aménagé (320 kg/ha pour 380 kg/ha).

La figure 10 compare les crues provoquées par l'événement exceptionnel des 4 et 5 août. À des fins de comparaison, les lames ruisselées et les transports solides sont ramenés à l'hectare. Les crues résultantes de la première averse beaucoup plus forte sur le bassin aménagé provoquent un coefficient de ruissellement de 9 % et une érosion spécifique 302 kg/ha pour le bassin aménagé contre un coefficient de 11 % et une érosion spécifique 112 kg/ha pour le témoin. Les crues provoquées par les deux averses suivantes (conditions d'infiltration très faibles) sont beaucoup plus fortes et plus pointues sur le bassin témoin. Les coefficients de ruissellement et les taux d'érosion spécifique sont respectivement de 10 %, 48 kg/ha et 14 %, 209 kg/ha sur le bassin aménagé et 50 %, 970 kg/ha et 42 %, 594 kg/ha sur le témoin. Sur le total de l'événement, la différence dans le ruissellement se traduit par un écart encore plus important des matières transportées. L'objectif de réduction de l'énergie cinétique de la lame ruisselée est donc atteint. L'examen individuel des pluies démontre un effet régulateur de l'aménagement pour les événements moyens et forts.

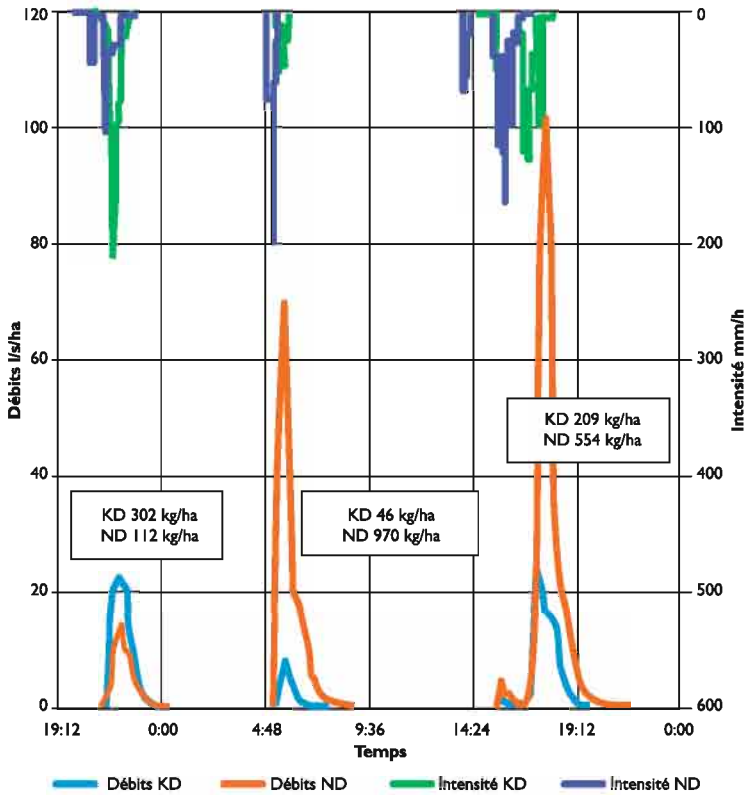


Figure 10.  
 Débits rapportés à 1 ha pour l'événement des 4 et 5 août 1993 –  
 Comparaison ravine de Keur Dianko (aménagée) et de N'Dierguène (témoin)  
 (Albergel et al., 2000).

## Les aménagements de bas-fonds

Les bas-fonds du Sahel sont les axes d'écoulements déprimés, fonds de vallons, ne possédant pas de cours d'eau important bien marqué, submergés pendant une période de l'année par une nappe d'eau qui s'écoule. Ils drainent des bassins versants d'une dizaine à quelques centaines de kilomètres carrés. Leurs sols ont pour origine essentielle des colluvions. Les bas-fonds concentrent les écoulements superficiels et souterrains, et favorisent l'installation de zones humides dans des paysages arides et semi-arides. La présence de nappes souterraines à faible profondeur dans les bas-fonds permet également le développement d'une strate arborée. Ils occupent une place limitée dans les paysages du Sahel : 5 à 10 % selon les conditions géomorphologiques (Albergel *et al.*, 1993).

Autrefois réservés à l'élevage, les bas-fonds de la zone sahélienne sont de plus en plus mis en culture en saison des pluies, et cela depuis le début des sécheresses des années 1970 et 1980. Le sorgho y est la culture la plus répandue, là où les sols ne sont pas trop engorgés et là où il peut bénéficier d'une assistance de la nappe aquifère en fin de cycle. En saison sèche, le maraîchage est pratiqué dans des petits jardins protégés des animaux et des vents secs par des clôtures en fascines et arrosés à partir de puisards creusés dans le bas-fond. L'arboriculture est aussi possible dans les parties des bas-fonds bien alimentées en eau.

Les deux contraintes naturelles les plus importantes au développement agricole des bas-fonds au Sahel sont :

- les fortes crues couplées avec une pente assez forte du bas-fond de l'ordre de 2 à 5 mètres par kilomètre, qui provoquent en début de saison des pluies l'arrachage des jeunes plants ;
- la faible durée de la saison des pluies, qui se traduit par un tarissement précoce des écoulements et une baisse rapide des nappes aquifères.

Afin de lever les contraintes naturelles liées à la mise en valeur des bas-fonds au Sahel, plusieurs solutions techniques sont proposées. Elles ont fait l'objet d'une étude complète au cours d'un projet R3S (Réseau de recherche sur la résistance à la sécheresse/CORAF (Conseil ouest et centre- africain pour la recherche et le développement agricoles) soutenu par la commission européenne de la Recherche (Albergel *et al.*, 1993). Toutes ces solutions visent à la maîtrise plus ou moins complète de l'eau. Pour les zones climatiques traversées par la GMV, Albergel *et al.* (1993) ont retenu deux types d'aménagements.

Ceux qui ont pour but d'épandre les crues, de les ralentir et de stocker l'eau pendant un temps assez long pour alimenter la réserve en eau du sol mais pas trop long pour ne pas compromettre par asphyxie le bon développement des plantes. Parmi les aménagements de ce type, Albergel *et al.* (1993) recommandent en fonction de la surface drainée et de la taille des bas-fonds les digues filtrantes ou les digues déversantes.

Ceux qui ont pour but de stocker l'eau pendant un temps assez long et dont la complexité et la dimension vont dépendre de l'objectif à atteindre :

- jouer le rôle de réserve d'eau pour abreuver les hommes et surtout les animaux ;
- réalimenter les nappes phréatiques proches pour faciliter le puisage de l'eau destinée à l'abreuvement et au maraîchage ;
- cultiver en décrue dans la retenue ;
- stocker l'eau suffisamment longtemps pour rendre la culture quasi indépendante de la pluviométrie, y compris en contre-saison.

La base de ces aménagements est toujours un barrage étanche dont la hauteur varie avec la disponibilité de l'eau et avec la durée prévue pour le stockage de l'eau.

### **La digue filtrante et la digue déversante**

Ces deux types d'aménagements ont été testés et évalués sur le bas-fond de Gourga, dans la région de Bidi au Burkina Faso.

La figure 11 en donne le plan de situation :

- la digue filtrante dans la zone amont draine un bassin versant de 45 km<sup>2</sup>. Elle a été réalisée en 1986.
- le micro-barrage à digue déversante en aval, terminé en 1988, draine un bassin versant de 157 km<sup>2</sup>.

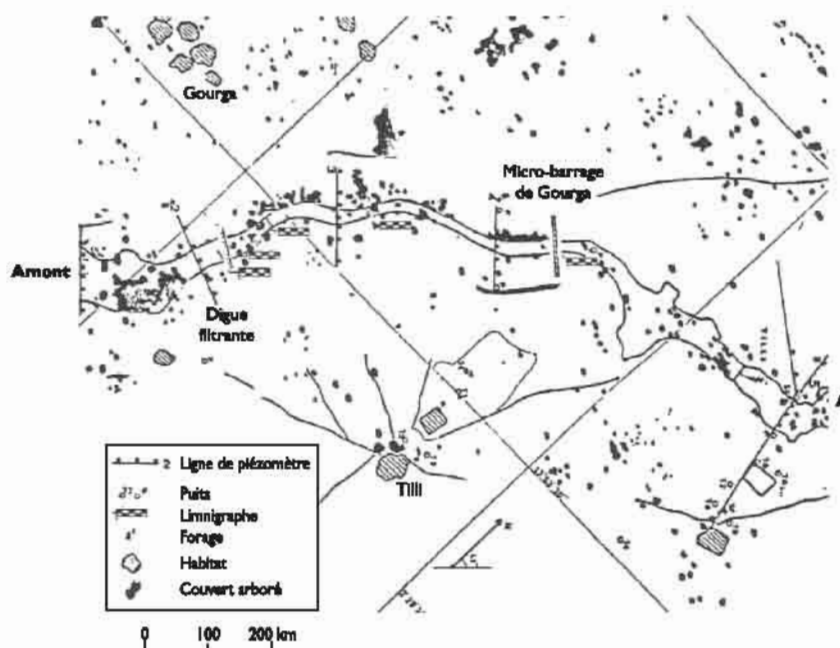


Figure 11.  
Plan de situation des digues filtrantes et déversantes.  
Bas-fond de Gourga Armén, Burkina Faso.

Les digues filtrantes freinent l'eau dans sa course et étendent la nappe d'inondation sur une plus grande superficie cultivable. L'eau s'étale ainsi à la surface du sol quelques heures à quelques dizaines d'heures en fonction de la taille du bassin versant.

Les digues filtrantes sont réalisées uniquement en pierres sèches dans le cas de petits bassins versants dont la superficie est inférieure à 10 km<sup>2</sup> (fig. 12), en gabions dès que le débit à évacuer devient trop important (fig. 13). Leur tracé suit des courbes de niveau pour mieux étaler l'eau, mais il est quelquefois rectifié.

Le sorgho et le riz sont les spéculations conseillées en amont des digues filtrantes. Le riz sera planté dans les parties les plus basses où la submersion est la plus longue. Le sorgho est une plante rustique qui supporte une submersion de deux à trois jours grâce à son enracinement profond et peut être cultivé en climat sec, où la saison des pluies ne peut pas assurer le cycle du riz qui est plus long.



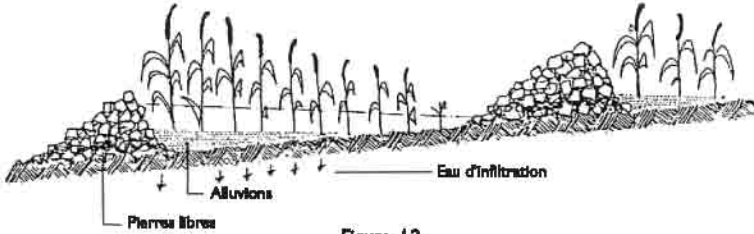


Figure 12.  
Digues filtrantes dans la région de Rissiam, Burkina-Faso (Van Driel et Vlaar, 1991).

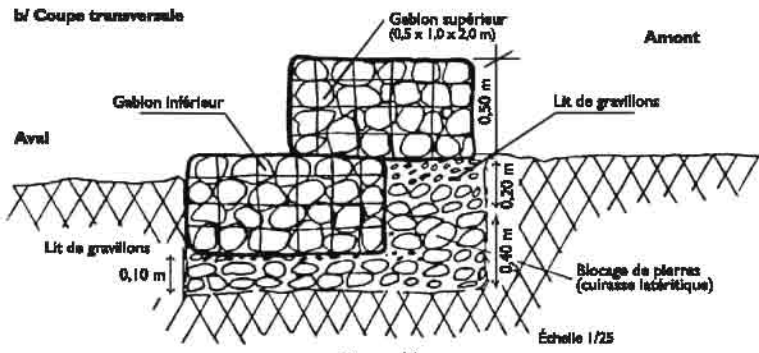
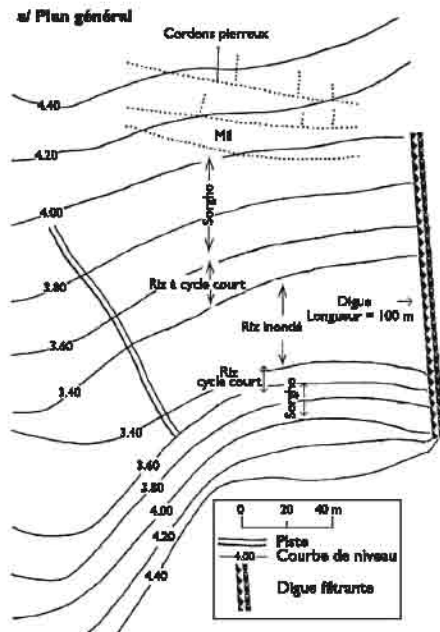


Figure 13.  
Plan de la digue filtrante de Gourga (Albergel et al., 1993).

Les digues filtrantes prolongent la saison végétative uniquement en rechargeant la réserve en eau du sol après la dernière crue. C'est pourquoi les performances de cet aménagement sont d'abord liées à la pluviométrie. En dessous de 600 mm/an, les paysans associent riz et sorgho, minimisant les risques.

Les digues filtrantes ont été vulgarisées au Sahel, surtout au Burkina Faso, sous forme d'aménagements impliquant les populations pour leur construction.

En enregistrant les crues en amont et en aval d'une digue filtrante, Van Driel & Vlaar montrent l'impact hydrologique de cet aménagement et calculent la recharge de la réserve en eau du sol. La figure 14 montre, pour une crue, l'effet de laminage de la digue filtrante. Ils expriment cet effet de laminage par le rapport entre le débit maximal de la crue enregistrée en amont de la digue et celle en aval. En fonction de la crue, ce rapport varie de 0,97 à 0,46. Ils ont mesuré un ralentissement des crues variant entre 5 et 15 minutes et des lames infiltrées variant de 200 à 400 mm.an<sup>-1</sup> en fonction de la position topographique. Il est intéressant de constater que des sols rarement inondés avant l'aménagement peuvent bénéficier d'apports en eau non négligeables.

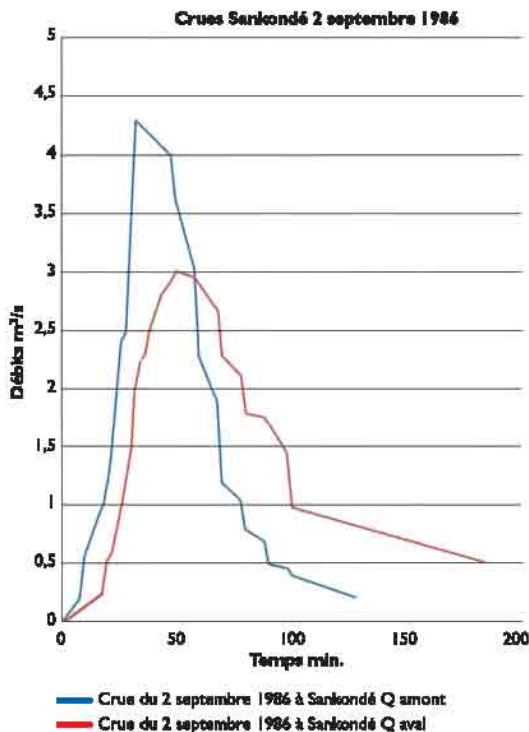


Figure 14.  
Comparaison des hydrogrammes de crues en amont et en aval  
de la digue filtrante de Sankondé, région de Rissani, Burkina Faso  
(données CIEH, Van Driel et Vlaar).

En multipliant le nombre de digues filtrantes, le laminage de crue augmente.

La digue déversante est un ouvrage un peu plus important (figure 15), ajoutant à la fonction agricole de l'épandage de la crue une fonction réservoir qui peut perdurer quelque mois après la saison des pluies. Dans le cas de l'ouvrage de Gourga

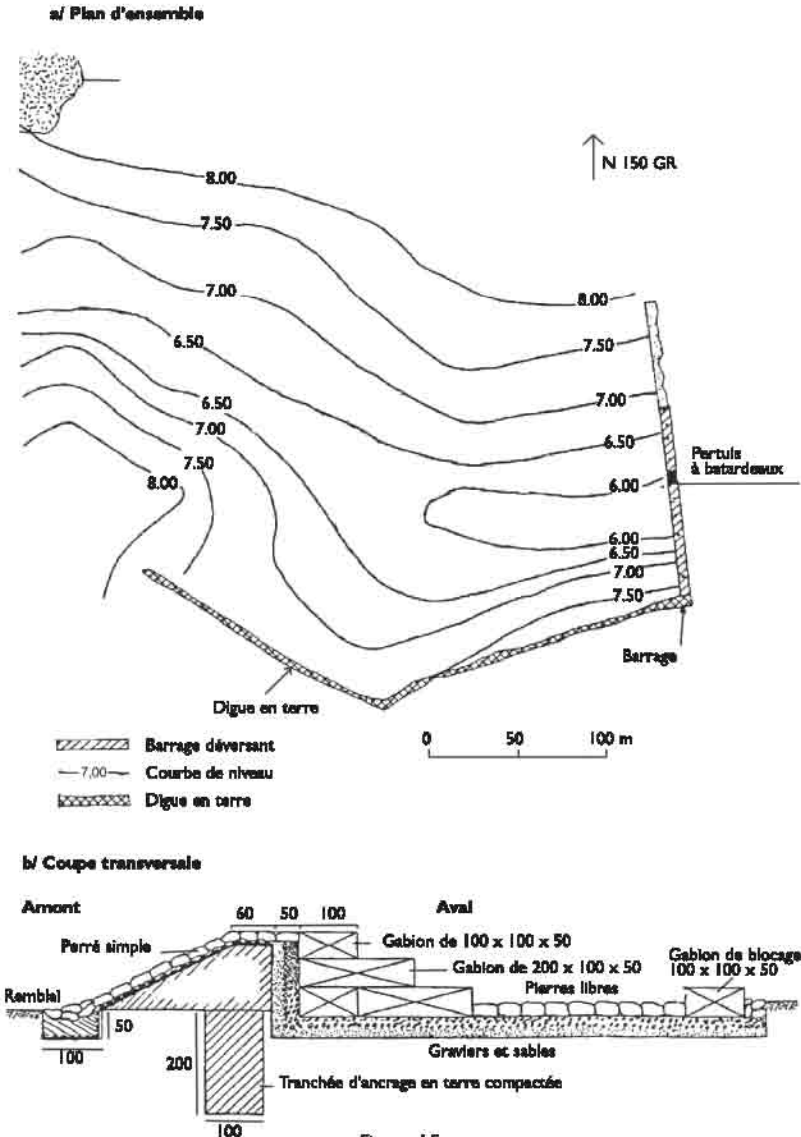


Figure 15. Micro-barrage déversant de Gourga, Burkina Faso (Albergel et al., 1993).

(Burkina Faso), représenté sur la figure 15, l'étude hydrologique a montré (Albergel *et al.*, 1993) que l'aménagement concilie jusqu'en année décennale sèche (375 mm de pluviosité) :

- le stockage des eaux de surface en saison des pluies et en début de saison sèche ;
- la sécurisation des cultures sur le pourtour de l'aménagement et du maraîchage en début de saison sèche ;
- la recharge des nappes phréatiques par infiltration de l'eau du barrage.

Dans cet aménagement, la crête de la digue est à la cote 700 m, alors que le point le plus bas est à la cote 580 m, la surface inondable est de 5,5 ha. Il est possible de sécuriser 2,35 ha de riz inondé et 0,85 ha de riz pluvial. Soixante pour cent de la surface de la retenue est donc rizicultivable. Afin d'assurer une valorisation maximale de l'ouvrage, un pertuis a été mis en place au milieu de la digue et permet de réguler le niveau de l'eau en début de saison des pluies pour éviter de noyer les cultures.

### Les petits barrages de retenues

Les petits barrages de retenues sont les aménagements les plus importants. De 1995 à 2005, l'IRD (Institut de recherche pour le développement) leur a consacré un grand programme sur trois continents. En zone sèche, ils ont été étudiés plutôt en Méditerranée, au nord du Mexique et dans le Nordeste brésilien. En Afrique de l'Ouest, ils ont été étudiés durant ce grand programme dans le nord de la Côte d'Ivoire (Cecchi, 2007). Depuis 2005, ce projet est relayé dans les régions plus sèches, notamment au travers d'un programme du « Challenge Programme : Eau et Nourriture » de l'IWMI (International Water Management Institute). <http://waterandfood.org/>.

Les petits barrages ont des hauteurs de digues inférieures à 15 m (hauteur des grands barrages définie par l'ICOLD [International Commission for Large Dams]). Ils sont équipés de déversoirs latéraux de conception rustique et parfois d'une vanne de fond. Leur coût unitaire est de l'ordre du demi-million d'euros, et souvent nettement moins. D'extension modérée (quelques hectares), les lacs de ces barrages ont une capacité de rétention qui varie de quelques dizaines de milliers au million de mètres cubes (fig. 16) (Albergel et Cecchi, 2012).

Les petits barrages qui sont construits au Sahel sont essentiellement destinés aux usages cités ci-dessous en fonction de leurs capacités, des aménagements annexes et de l'organisation des communautés rurales pour leur usage (Albergel *et al.*, 1993).

1- L'abreuvement du bétail (et parfois des humains malgré les risques sanitaires). Ils sont réalisés dans le cadre d'un programme cohérent de développement de l'économie pastorale, prenant en compte la valeur des pâturages, les circuits de transhumance. Malheureusement de nombreuses initiatives ne tiennent pas compte du cadre général pour lancer la construction de barrages pastoraux.

2- La réalimentation des nappes phréatiques. Cela intéresse les villageois qui peuvent construire des puits moins profonds et mieux alimentés en eau. L'eau stockée dans la nappe permet aussi de réaliser des cultures maraîchères et fruitières.

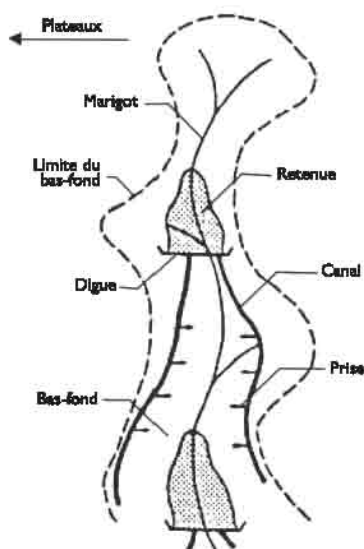


Figure 16.  
Petits barrages et systèmes d'irrigation.

3- La culture de décrue, surtout de sorgho, au fur et à mesure que l'eau se retire. Le barrage peut être muni d'une vanne pour accélérer la vidange et mettre en place les cultures avant l'apparition des vents secs. On trouve ces barrages pour cultures de décrues en Mauritanie, au Niger (Ader Doutchi-Maggial) et au Tchad (Ouaddm). Les conditions de leur développement sont encore mal connues. Des expériences pour planter un pâturage aquatique dans la retenue (*Echinochloa stagnina* ou Bourgou) ont été tentées (comm. pers., Jean-François Gabelle), mais là aussi les résultats de retours d'expérience ou recherches manquent.

4- L'irrigation, qui peut se faire en aval, à partir d'un ou deux ouvrages de prise, ou sur les versants de la retenue par pompage.

• Irrigation par gravité en aval du barrage. Des canaux d'irrigation suivant le bord du bas-fond (parfois également les bourrelets de berge) distribuent l'eau en aval de la digue de retenue. Il s'agit d'une solution coûteuse, mais très répandue au Burkina Faso. Suivant la hauteur d'eau stockée derrière le barrage et la durée du stockage, on peut cultiver du riz en double culture. Il s'agit dans ce cas des petits barrages les plus gros, car les besoins en eau sont importants pour pouvoir cultiver jusqu'en avril-mai. Par exemple, le barrage de Mogtiedo, construit en 1963, mis en valeur en 1967 et qui a une capacité de 6 560 000 m<sup>3</sup>, assure chaque année une double culture de riz sur 94,6 ha dans la plaine de Mogtiedo et 18 ha de cultures maraîchères (source : services techniques de DPAHRH du Ganzourgou). Ce barrage s'assèche en 2008 en raison de l'augmentation non contrôlée des surfaces et d'une année de mauvaise pluviométrie. Un plan de rehaussement du barrage a été étudié. Le barrage de Goinré, dans la banlieue nord de Ouahigouya, permet une culture de riz en saison des pluies et du maraîchage en contre-saison.

- Irrigation sur les versants de la retenue. Au lieu d'irriguer les terres par gravité à l'aval du barrage, on irrigue par pompage à l'amont de celui-ci (avec des calebasses en pays Dogon, avec des motopompes la plupart du temps).

Les principaux problèmes techniques posés par ces barrages concernent l'évacuateur de crue et le bon dimensionnement de la digue en fonction des apports. Le premier risque environnemental des barrages construits au Sahel est la rupture de digue (Albergel et Cecchi, 2012). Les ouvrages évacuateurs de crues doivent être correctement calculés. Ce calcul se fait généralement à partir de la prédétermination de la crue de récurrence décennale.

Une digue surdimensionnée prive les zones aval d'eau et transforme le barrage qui ne se remplit pas en machine à évaporation. La capacité de la retenue est en générale calculée pour retenir un écoulement moyen annuel.

En fonction de l'importance de l'aménagement, on utilise des méthodes simples de prédétermination de ces paramètres hydrologiques (crue décennale et apports annuels), ou la modélisation hydrologique. Les méthodes de prédéterminations simples sont basées sur la connaissance que l'on a des régimes hydrologiques régionaux. Albergel *et al.* (1993) donnent les principales méthodes de prédétermination de ces paramètres et proposent des abaques pour les régions pilotes de l'étude R3S/CORAF dans leur synthèse sur les bas-fonds. En 2003, l'Association internationale des sciences hydrologiques (IAHS) a lancé une décennie de recherche sur l'hydrologie des bassins versants non jaugés (IAHS, *Decade on predictions in ungauged basins (PUB)*, Sivapalan *et al.*, 2003). Des résultats très intéressants ont vu le jour, dont l'application de nouvelles méthodes d'estimation des paramètres hydrologiques pour la construction de petits barrages.

Le passage des crues à travers le périmètre aval reste un problème : soit on endigue sur ses deux berges le marigot au milieu de la plaine, soit on abandonne la culture sur un côté de la plaine pour laisser passer les crues, soit on laisse les crues passer sur les cultures, mais les dégâts sont alors inévitables.

À partir de l'étude de Jean-François Gabelle sur les aménagements hydrauliques en Afrique, publiée dans la Synthèse de l'étude des bas-fonds au Sahel (Albergel *et al.*, 1993), le tableau 3 présente les avantages et les inconvénients des aménagements de bas-fonds en zones sèches du Sahel africain.

## Conclusion

De l'entretien des puits pastoraux traditionnels à la construction de barrages modernes pour l'irrigation de grands périmètres, l'aménagement hydraulique est une priorité des politiques de tous les États du Sahel. De nombreuses et importantes réalisations à différentes échelles ont vu le jour depuis les indépendances de ces pays. Toutes n'ont pas atteint leurs objectifs, mais certaines les ont dépassés.

Tableau 3.  
Avantages et inconvénients des principaux aménagements de bas-fonds au Sahel  
(F. Gabelle, in Albergel et al., 1993).

Avantages	Inconvénients
<b>Digue filtrante</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étalement des crues sur toute la largeur du bas-fond</li> <li>• Meilleure infiltration</li> <li>• Diminution de l'écoulement dans l'axe du bas-fond et laminage de la crue</li> <li>• Augmentation de la superficie cultivée</li> <li>• Rendements plus élevés</li> <li>• Aménagement à la portée des populations y compris son entretien.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne convient que pour des bas-fonds drainant de petits bassins versants avec des crues modérées</li> <li>• Système inefficace en année sèche</li> <li>• Rendement très sujets à la pluviométrie et à l'hydraulicité</li> </ul>
<b>Digue déversante</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étalement des crues sur toute la largeur du bas-fond</li> <li>• Meilleure infiltration</li> <li>• Fonction de réservoir possible</li> <li>• Diminution de l'écoulement dans l'axe du bas-fond et laminage de la crue</li> <li>• Augmentation de la superficie cultivée</li> <li>• Rendements plus élevés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système plus coûteux que la digue filtrante et technicité plus importante</li> <li>• N'assure pas une forte maîtrise de la ressource en eau</li> <li>• Rendements assez sujets à la pluviométrie et à l'hydraulicité</li> </ul>
<b>Barrage de retenue pour hydraulique villageoise</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité d'abreuvement</li> <li>• Entretien peu coûteux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solution coûteuse à comparer avec forage, puits ou surcreusement de mare</li> <li>• Médiocre utilisation de l'eau en raison de l'évaporation</li> </ul>
<b>Barrage de retenue pour alimentation de la nappe phréatique</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité pour abreuver les hommes et les troupeaux toute l'année</li> <li>• Possibilité de pratiquer des cultures irriguées par pompage, maraîchers et vergers</li> <li>• Possibilité de ressources halieutiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessité de sols filtrants mais pas trop</li> <li>• Investissement coûteux</li> <li>• Obligation d'élever l'eau à la main ou avec un système d'exhaure</li> </ul>
<b>Barrage de retenue pour culture de décrues</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Culture de sorgho connue et bonne sécurisation hydrique</li> <li>• Entretien peu coûteux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque de retour sur expériences</li> <li>• Conditions pédologiques mal connues</li> <li>• Nécessité d'étude approfondie, hydrologie et géotechnie</li> </ul>
<b>Barrage de retenue pour irrigation</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité pour abreuver les hommes et les troupeaux toute l'année</li> <li>• Maîtrise de l'eau pour toutes les cultures</li> <li>• Rendements potentiellement élevés</li> <li>• Possibilité de ressources halieutiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aménagement très coûteux à l'investissement et à l'entretien</li> <li>• Nécessité d'étude approfondie, hydrologie et géotechnie</li> <li>• Demande une technicité élevée de la part des agriculteurs</li> <li>• Nécessité de redistribution des terres</li> </ul>

Cette étude a démontré que les écosystèmes sahéliens sont soumis à des pressions sans précédent, accentuées par les variabilités et changements climatiques ; ce qui menace leurs perspectives actuelles de développement durable. Cependant, et malgré tous les défis environnementaux présents, les opportunités offertes par les aménagements hydrauliques le long du tracé de la Grande Muraille Verte (GMV) seront importantes si leur gestion sur le moyen et long terme est bien assurée, notamment en mettant l'accent sur la maintenance des espèces ligneuses très résilientes, qui de surcroît ont des qualités multifonctionnelles, et sur l'amélioration de la fertilité des sols et la gestion durable des ressources en eaux. L'adhésion des populations locales devra être assurée, de même que la sécurisation de leurs apports, ainsi que les appuis techniques et financiers et les mécanismes de suivi nécessaires. Les formes d'initiatives et d'ouvrages ainsi décrites dans cet article constituent des formes d'adaptation innovantes dans un milieu sahélien fragile et vulnérable, exposé en grande partie, sinon dans sa totalité, à l'impact des changements et variabilités climatiques ainsi qu'à la dégradation des ressources et des terres, et à celle des biens et services environnementaux qui leur sont liés.

Ces formes d'ouvrages, qui constituent des réponses pour des conditions environnementales plus stables, auront atteint tout leur potentiel de réussite si elles parviennent à sauvegarder un tel environnement sahélien fragile ainsi que la biodiversité qui lui est associée, tout en créant des activités agro-forestières génératrices de revenus et de bien-être, et en renforçant les capacités des populations locales à se prendre en charge par elles-mêmes et de façon durable.

Si de telles conditions sont réalisées, on aura alors atteint l'objectif d'une innovation et d'une croissance inclusive plus réactives aux objectifs d'éradication de la pauvreté et pour le bénéfice des communautés locales dans un milieu plus prospère, plus stable et plus équitable, pour le bien de l'économie et de l'environnement de l'ensemble de la région sahélienne.

## Bibliographie

Albergel J. et Cecchi P., 2012.  
Le petit barrage, un hydro-aménagement innovant en zones méditerranéennes et tropicales sèches.  
Forum Mondial de l'eau Marseille 2012, Editions de l'IRD, à paraître.

Albergel J., Lamachère J.M., Lidon B., Mokadem A., Van Driel W. (Ed.), 1993.  
Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles.  
Rapport final d'un projet CORAF-R3S. Ouagadougou, Burkina Faso, CIEH, 335 p.

Albergel J., Lamachère JM, Lidon B., Mokadem A., Van Driel W., 1993.  
Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. Rapport final d'un projet CORAF-R3S. Ouagadougou, Burkina Faso CIEH, 335p.

Albergel J., Diatta M., Pépin Y.  
Aménagement hydraulique et bocage dans le bassin arachidier du Sénégal, 2000.  
In : Floret Christian (ed.), Pontanier Roger (ed.). La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives : 1. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999. Paris (FRA) ; Montrouge : IRD ; J. Libbey, 2000, p. 741-750.



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- La Jachère en Afrique Tropicale :  
Rôles, Aménagement, Alternatives :  
Séminaire International, Dakar (SEN),  
1999/04/13-16. ISBN 2-7099-1442-5
- Albergel, 2012.  
Reservoirs, multipurpose use of small reservoirs.  
In *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*  
Geography, Geology, Hydrology and  
Paleolimnology Series: *Encyclopedia of Earth*  
Sciences Series. Bengtsson, Lars;  
Hersch, Reginald W.; Fairbridge, R.W. (Eds.)  
800p., Chap. 234.
- Bangoura, S., 2002.  
Water harvesting techniques in West and Central  
Africa. In: Dupuy, A., Lee, C., Schaaf, T. (Eds.),  
*Proceedings of the International Seminar on*  
*Combating Desertification: Freshwater Resources*  
*and the Rehabilitation of Degraded Areas*  
*in the Drylands*, Samantha Wauchope,  
fushia publishing Paris, N'Djamena, Chad,  
October 30 to November 4, 2000, pp. 20–26.
- Casenave, A. et Valentin, C. 1989.  
Les états de surface de la zone sahélienne.  
Ed. ORSTOM, Collection didactiques. 227 p.
- Cecchi P (2007).  
“ L'Eau en partage. Les Petits Barrages  
de Côte d'Ivoire “. P. Cecchi (ed.)  
Collection Latitude 23, IRD, Paris. 295p.
- Chevallier P., Claude J., Pouyaud B.,  
Bernard A., 1985 -  
Pluies et crues au Sahel.  
Hydrologie de la Mare d'Oursi - Burkina Faso.  
Paris, ORSTOM, Travaux et documents n°190,  
251 p.
- Claude J., Grouzis M., Milleville P., 1991.  
Un Espace sahélien : la mare d'Oursi,  
Burkina Faso. IRD Editions, 1991, 241 pages
- Eswaran, H., R. Lal and P.F. Reich. 2001.  
Land degradation: an overview.  
In: Bridges, E.M., I.D. Hannam, L.R.  
Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr,  
and S. Sompatpanit (eds.).  
Responses to Land Degradation.  
Proc. 2nd. International Conference on Land  
Degradation and Desertification, Khon Kaen,  
Thailand. Oxford Press, New Delhi, India.
- Falkenmark, M., 1995.  
Land-water linkages-A synopsis in land  
and water integration”ROME, FAO,  
Land and Water Bulletin, 1, pp 15-16.
- Ganaba S., 2005.  
Impact des aménagements de conservation  
des eaux et des sols sur la régénération  
des ressources ligneuses en région sahélienne  
et nord soudanienne du Burkina Faso,  
VertigO – La revue en sciences de l'environnement,  
Vol6 n°2, septembre 2005, pp 1-15
- Gleick, P., 1996.  
Basis Water requirement for human activities:  
Meeting basic needs,  
Water international, 21, pp 82-92.
- Gomes N., Touma J. and Albergel J. 2008.  
Water harvesting Techniques, State of the Art,  
New Researches and Challenges. 68p.  
Project (IP) contract n°511231-2 -  
6th Eu Framework Programme for RTD
- IAASTD, 2009.  
“Agriculture at a Crossroads”, International  
Assessment of Agricultural Knowledge,  
Science and Technology for Development.  
Volume 5 : Sub-Saharan Africa. Ed. B.D.  
McIntyre, H.R. Herren, J. Wakhungu and R.T  
Watson. Islandpress. Washington, Covelo.  
London. 167 p.
- Lamachère J.M. et G. Serpantié, 1991.  
Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins  
versants en zone aride. Ed. AUPELF-UREF.  
John Libbey Eurotext. Paris © 1991,  
p. 165-178
- Lavigne Delville P., Camphuis N., 1998.  
Aménager les bas-fonds dans les pays du Sahel.  
Gret ; ministère de la Coopération ;  
CTA. 528 p.
- Marter A. and A. Gordon, 1996.  
Emerging issues confronting the renewable  
natural resources sector in sub-Saharan Africa.  
Food Policy. Volume 21, Issue 2, May 1996,  
Pages 229-241
- Peltier R., 1996.  
Les parcs à Faidherbia.  
Editeur : Quae (1 janvier 1996)  
Collection : Cahiers scientifiques.  
Broché: 312 p.
- Perez P., Albergel J., Diatta M.,  
Grouzis M., Sene M., 1998 b.  
Rehabilitation of a semiarid ecosystem  
in Senegal. Experiments at the hillside scale.  
in *Agriculture, Ecosystem and Environment*  
n°65, pp. 95-106.

- Perez P., Albergel J., Diatta M., Grouzis M., Sene M., 1998a. Rehabilitation of a semiarid ecosystem in Senegal. 2. Farm-plot experiments Original. Research Article. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 70, Issue 1, 3 August 1998, Pages 19-29
- Rockström, G., 2003. Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. *The Royal Society, Phil. Trans. Biological Sciences* (2003) pp 1997-2009
- Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), *Bulletin pédologique de la FAO* n°70
- Sene M., 1995. Influence de l'état hydrique et du comportement mécanique du sol sur l'implantation et la fructification de l'arachide. Thèse de Doctorat, ENSAM Montpellier, 127 p.
- Sivapalan M.; Takeuchi K. ; Franks S. W.; Gupta V. K. ; Karambiri H.; Lakshmi V.; Liang X.; McDonnell J. J.) ; Mendiondo E. M.; O'Connell P. E.; Oki T. ; Pomeroy J. W. ; Schertzer D. ; Uhlenbrook S. ; Zehe E.. 2003. IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences = La décennie de l'AISH sur les prévisions en bassins non jaugés (PBNJ), 2003-2012 : émergence d'un futur passionnant pour les sciences hydrologiques. *Hydrological sciences journal*. 2003, vol. 48, n°6, pp. 857-880
- Van Driel WF & Vlaar JC.J, 1991. Impact des digues filtrantes sur le bilan hydrique et sur les rendements agricoles dans la région de Rissiam, Burkina Faso. *Soil Water balance in the Sudano-Sahelian Zone*. (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). *IAHS Publ.* 199, 1991, pp 299-309
- Vohland K. and Barry B. 2009. A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 (2009) 119-127
- Zaks D. and C. Monfreda, 2008. *Green Water Credit in* <http://www.worldchanging.com>



# La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides : un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo-saharienne

DUPONNOIS R.<sup>1,2,\*</sup>, HAFIDI M.<sup>2</sup>, WAHBI S.<sup>1,2</sup>, SANON A.<sup>3</sup>, GALIANA A.<sup>4</sup>,  
BAUDOIN E.<sup>1</sup>, SANGUIN H.<sup>4</sup>, BÂ A.M.<sup>1</sup>, PRIN Y.<sup>4</sup>, BALLY R.<sup>5</sup>

1. IRD, UMR 113, Cirad/Inra/IRD/Sup-Agro/UM2,  
Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM),  
campus international de Baillarguet, Montpellier, France

2. Laboratoire écologie et environnement (unité associée au CNRST, Urac 32), faculté des sciences  
Semlalia, université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

3. Institut de recherche pour le développement (IRD),  
Centre de Ouagadougou, 01 BP 182 Ouagadougou, Burkina Faso.

4. Cirad, UMR 113, Cirad/Inra/IRD/Sup-Agro/UM2,  
Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM),  
campus international de Baillarguet, Montpellier, France

5. Agence inter-établissements de recherche pour le développement (AIRD),  
Direction des programmes et de la formation pour le Sud (DPF), IRD, Marseille Cedex 02

\* Tél/Fax : +212 5 24 43 76 65  
email : Robin.Duponnois@ird.fr

## Résumé

Les contraintes majeures qui limitent la productivité des agroécosystèmes en milieu arides sont généralement attribuées aux carences minérales [plus particulièrement en phosphore (P) et en azote (N)], à un déficit en eau, aux processus d'érosion hydrique et éolienne, ainsi qu'à des perturbations dans le biofonctionnement du sol (faible diversité génétique et fonctionnelle de la microflore tellurique, etc.). Lorsque ces milieux ne sont pas soumis à une surexploitation, ils présentent une activité

biologique élevée. Il a été ainsi suggéré que leur valorisation *via* des stratégies culturales adéquates pouvait réactiver les processus écologiques impliqués dans le maintien de la fertilité des sols et ainsi assurer une meilleure productivité de l'agro-écosystème. La plupart des plantes de ces régions arides (espèces sauvages ou cultivées) sont associées à des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ces symbiotes fongiques sont reconnus comme étant des composantes microbiennes majeures dans le déroulement des principaux cycles biogéochimiques des sols (C, P et N) et en conséquence dans le développement des plantes en améliorant leur nutrition minérale mais aussi hydrique et leur état sanitaire. Paradoxalement, leur valorisation au sein d'itinéraires culturaux reste encore très limitée, voire inexistante. Ce chapitre a pour objectifs principaux de décrire le rôle des CMA dans le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols et sur le développement des plantes tant au niveau de leur nutrition minérale, de leur résistance au stress hydrique que de l'état sanitaire des sols cultivés (ex. : lutte contre *Striga* spp.). Des stratégies d'ingénierie écologique seront ensuite proposées afin d'optimiser certaines techniques culturales (ex. : agroforesterie) dans le rôle de maintien du potentiel infectieux mycorhizogène des sols en relation avec une pleine expression des propriétés de la symbiose mycorhizienne sur les plantes cultivées, permettant ainsi d'atteindre des rendements culturaux compatibles avec les besoins des populations locales.

#### Mots clés

CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS À ARBUSCULES, SOLS TROPICAUX ARIDES, FERTILITÉ DES SOLS.

## Introduction

De nombreux sols des zones tropicales sont fragilisés et assujettis à de profondes perturbations chimiques et biologiques aboutissant à une diminution des rendements des cultures et en conséquence à de nombreuses difficultés pour satisfaire les besoins alimentaires des populations locales. Selon Sanchez *et al.*, (2003), les principales contraintes entraînant une baisse des rendements agricoles se situent au niveau des caractéristiques des sols : les carences minérales (en particulier en P), la faible réserve en eau consécutive à une pluviométrie insuffisante, une érosion importante, de faibles teneurs en matière organique et une activité biologique tellurique déficiente. Au siècle dernier, les technologies relatives à la révolution verte basées sur l'utilisation de pesticides, d'engrais chimiques et de variétés améliorées de plantes ont permis de remédier à ces dégradations et ainsi atteindre une productivité agricole suffisante (Dalgaard *et al.*, 2003). Toutefois ces techniques culturales n'ont pu être adoptées par l'ensemble des pays sur la planète de par leur situation socio-économique. De plus, il a été estimé qu'un épuisement total des ressources en P provenant de la roche (stock de P utilisé pour la production d'engrais) pourrait survenir dans 50 à 100 ans avec un pic dans la demande en 2030 (Cordell

et al., 2009). Les conséquences directes sont la dégradation des terres et une insécurité alimentaire chronique touchant plus de 2 milliards de personne. De plus il est maintenant parfaitement admis que l'utilisation excessive des intrants chimiques affecte gravement et durablement le biofonctionnement du sol et présente des risques pour la santé humaine (Dalgaard et al., 2003). Le défi pour les 50 années à venir est de doubler la production agricole en respectant les règles d'une agriculture durable à faibles apports d'intrants et n'ayant aucun risque pour la santé publique (Tilman et al., 2002). Une des stratégies possibles est la mise en place de pratiques agricoles reposant sur les processus et les fonctionnalités écologiques (utilisation des ressources naturelles du sol, recyclage des nutriments, choix du matériel végétal, gestion des intrants organiques et minéraux). Selon Janssen, De Willigen (2006), la réflexion visant à identifier des pratiques culturelles performantes et respectueuses de l'environnement, doit être engagée sur l'efficacité réelle des intrants chimique au niveau du rendement agricole. Dans les régions tropicales, la gestion du potentiel biologique tellurique revêt une importance toute particulière dans le maintien et l'augmentation de la fertilité des sols (Cardoso, Kuyper, 2006). Parallèlement il est recommandé d'adopter des pratiques culturelles basées sur les processus biologiques régissant l'évolution spatio-temporelle des écosystèmes végétaux non anthropisés (ex. : diversité du couvert végétal) et donc éviter la pratique de la monoculture. En conséquence, la mise en place d'un couvert végétal composé par une association d'espèces adaptées aux conditions du milieu et le recours à des plantes pérennes (arbustes, arbres) présente de nombreux intérêts susceptibles d'améliorer significativement la productivité végétale. En effet, il a été montré que les agroécosystèmes plurispécifiques (cultures associées, mélange de génotypes ou plantations mixtes) pouvaient présenter une augmentation de productivité de 30 à 60 % en comparaison des systèmes monospécifiques, ainsi qu'une meilleure utilisation des ressources naturelles, une diminution des risques face aux variations pédoclimatiques et aux ravageurs, une limitation des processus d'érosion, et une amélioration de la stabilité pluriannuelle du fonctionnement. En milieu tropical, les systèmes agroforestiers offrent un grand nombre d'intérêts favorisant le rendement des cultures parmi lesquels une amélioration de l'état sanitaire de l'agroécosystème mais également en entretenant durablement un niveau satisfaisant de fertilité (teneur en matière organique, activité biologique, etc.) (Young 1997 ; Ewel, 1999).

Parmi les composantes microbiennes impliquées dans le biofonctionnement du sol figurent les champignons mycorhiziens considérés comme des éléments majeurs de l'interface sol/plante. Les objectifs de ce chapitre sont : (1) de montrer l'importance de la symbiose mycorhizienne dans le maintien de la fertilité chimique des sols (plus particulièrement celle en P biodisponible) et augmenter ainsi les rendements des cultures en milieu tropical ; (2) en se référant à la plante phytoparasite, *Striga* spp., pathogène majeur des cultures céréalières dans ces zones arides et semi-arides, de montrer comment les champignons mycorhiziens peuvent agir contre la prolifération de ce parasite ; (3) de proposer des itinéraires culturels susceptibles d'améliorer le potentiel mycorhizien des sols et ainsi favoriser l'expression de la symbiose fongique sur les caractéristiques des sols et les cultures.

## La symbiose mycorhizienne et les espèces cultivées des milieux arides et semi-arides

Les champignons les plus abondants dans les sols cultivés sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ils constituent 5 à 50 % de la biomasse microbienne des sols (Olsson *et al.*, 1999). La biomasse des hyphes mycorhiziens peut varier de 54 à 900 kg par hectare (Zhu, Miller, 2003). La croissance des hyphes dans le sol s'accompagne d'une production de glomaline (glycoprotéine) qui améliore l'agrégation des particules de sol et peut représenter de 10 à 20 fois le réservoir de carbone contenu issu de la biomasse microbienne (Rillig *et al.*, 2006). Le mycélium extramatriciel peut atteindre 3 % du poids des racines (Lovelock *et al.*, 2004). Le mycélium issu de l'établissement de la symbiose peut mesurer de 10 à 100 m par gramme de sol (McGonigle, Miller, 1999). Pratiquement toutes les plantes de culture tropicales évoluent en symbiose avec des CMA et présentent une haute dépendance mycorhizienne (Norman *et al.*, 1995).

Le fonctionnement de la symbiose mycorhizienne est basé sur des échanges réciproques entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique (Gobat *et al.*, 2003). Le nouvel organe mixte résulte de l'assemblage de tissus de la plante hôte et du champignon mycorhizien et chaque composante de la symbiose optimise son développement grâce à ces interactions bidirectionnelles. Les racines de plus de 80 % des espèces de plantes vasculaires présentent ou sont susceptibles de présenter des structures mycorhiziennes. La formation de mycorhizes est donc un phénomène général chez les plantes à l'exception de quelques familles comme les Brassicaceae, les Caryophyllaceae, les Cyperaceae, les Juncaceae, les Chenopodiaceae et les Amaranthaceae qui présentent très peu d'associations mycorhiziennes (Norman *et al.*, 1995). Leur fonction est primordiale dans tout ou une partie du cycle de la plante, plus particulièrement pour la nutrition du végétal. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante *via* la photosynthèse et qui sont indispensables à son métabolisme et à sa fructification. En retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (phosphatase, phytase) susceptibles de libérer du phosphore à partir de composés complexes organiques et inorganiques du sol (Gobat *et al.*, 2003).

L'établissement de la symbiose mycorhizienne entraîne l'apparition de nouveaux compartiments biologiques dans la rhizosphère. En modifiant la physiologie de la plante et donc les caractéristiques qualitatives et quantitatives de l'exsudation racinaire, le fonctionnement de la symbiose mycorhizienne va matérialiser au sein de la microflore tellurique différents compartiments microbiens composés par des communautés bactériennes et fongiques présentant des caractéristiques spécifiques (structure, diversité fonctionnelle). Le terme mycorhizosphère a été retenu pour

désigner ce volume de sol sous influence des mycorhizes (Linderman, 1988 ; Johansson *et al.*, 2004). Des études réalisées en milieu naturel sur des plantes colonisées par des champignons mycorrhiziens ont montré qu'environ 10 à 20 % du carbone fixé au niveau du végétal sont transférés aux symbiotes fongiques. Cette mobilité du carbone représente une entrée significative d'énergie dans ce compartiment et jouera un rôle crucial dans la dynamique de nombreux micro-organismes composant la mycorrhizosphère (Johnson *et al.*, 2002) (fig. 1). Par ailleurs, les hyphes mycéliens issus des associations mycorrhiziennes (ou matrice extramatricielle) peuvent s'étendre jusqu'à plusieurs centimètres de la surface racinaire. Outre leur rôle dans le prélèvement des nutriments, ces hyphes favorisent la formation d'agrégats dans le sol notamment par leur exsudation (ex. : glomaline chez les CMA). Ces structures stimulent la prolifération de micro-organismes ayant des caractéristiques propres pour constituer la mycosphère ou l'hyphosphère désignant ainsi le sol conditionné par ce réseau extramatriciel (Rambelli, 1973 ; Linderman 1988) (fig. 1).

Le rôle majeur des mycorhizes se situe au niveau de la mobilisation pour la plante d'éléments nutritifs très peu mobiles dans le sol, principalement le phosphore (Duponnois *et al.*, 2005a ; Lambers *et al.*, 2008). En fonction du pH du sol, cet élément se retrouve majoritairement piégé par le fer, l'aluminium ou le calcium sous des formes difficilement mobilisables pour les plantes (Hinsinger, 2001). L'exploration d'un plus grand volume du sol et la possibilité d'altération des minéraux primaires par les champignons mycorrhiziens améliorent la nutrition phosphatée des plantes (Landeweert *et al.*, 2001). Cette meilleure acquisition des nutriments inorganiques permise par les symbiotes fongiques concerne également d'autres macro- (N, K, Mg, Na, S) et micro- (B, Br, Cl, Cu, Cr, Cs, Co, Fe, Mo, Mn, Ni, Si, Zn) nutriments du sol (Smith, Read, 2008). Il a également été démontré que les associations mycorrhiziennes pouvaient jouer un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation des matières organiques végétales et mobiliser les nutriments au bénéfice de la plante hôte (Gobat *et al.*, 2003 ; Lambers *et al.*, 2008). He, Nara (2007) ont même suggéré que les mycorhizes pourraient jouer un rôle fondamental dans la réduction de la malnutrition humaine du fait que de nombreux nutriments se retrouvaient dans la biomasse des plantes mycorhizées (biofortification).

L'amélioration de la nutrition hydrique des plantes associées à des champignons mycorrhiziens a aussi été observée (Auge, 2001). De nombreux résultats indiquent également un effet bioprotecteur des mycorhizes : réduction ou même inhibition de l'effet négatif de certains agents pathogènes (Smith, Read, 2008) comme les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne* (Duponnois, Cadet, 1994) et une meilleure tolérance des plantes mycorhizées aux éléments traces métalliques ou aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (Leyval, Joner, 2001 ; Joner, Leyval, 2003). L'établissement de la symbiose permet également de favoriser la formation d'agrégats et ainsi d'améliorer la structure du sol. La colonisation du sol par le mycélium extramatriciel et la production par les hyphes mycorrhiziens d'une glycoprotéine, la glomaline, engendrent une meilleure structuration du sol par la formation d'agrégats beaucoup plus stables (Lovelock *et al.*, 2004 ; Rillig, Mummey, 2006).



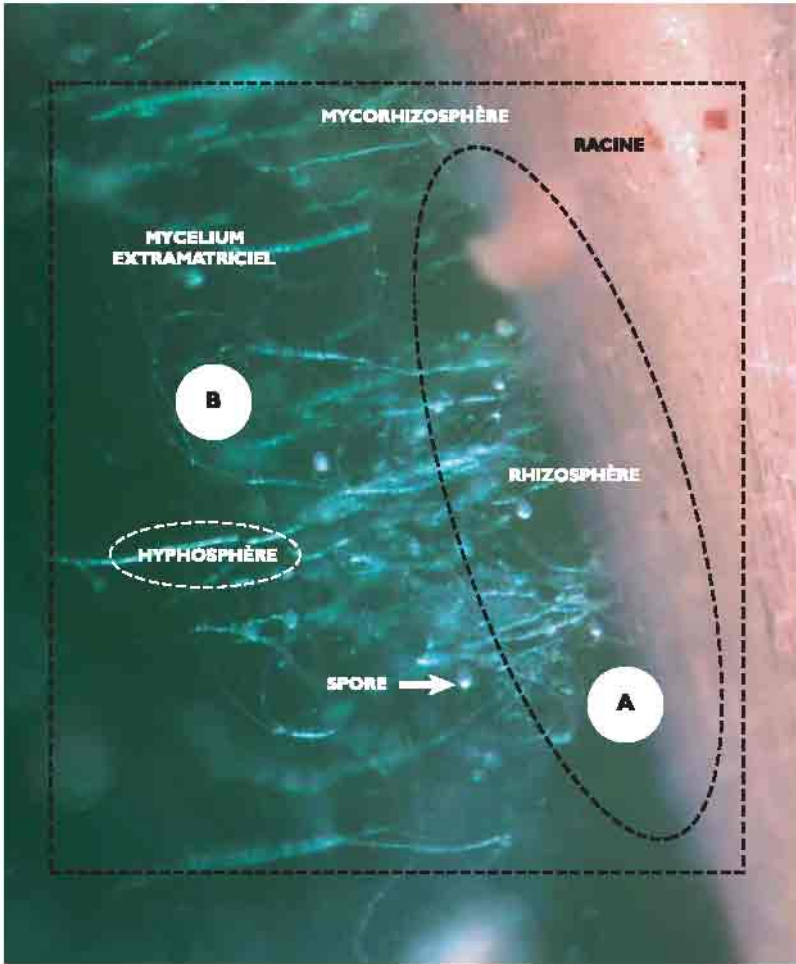


Figure 1.  
Schématisation des interactions entre les différents compartiments de la mycorhizosphère (d'après Johansson et al., 2004).

Les associations mycorhiziennes jouent un rôle clef dans le fonctionnement et la stabilité des agro- et écosystèmes terrestres en intervenant significativement dans la coexistence des plantes. En effet, l'existence de plantes matérialisant au sein de leurs systèmes racinaires des réservoirs de propagules mycorhiziennes constitue un vecteur très efficace pour assurer l'établissement de jeunes régénérations en facilitant notamment l'infection des jeunes plants, donc leur survie, dans des conditions du milieu souvent hostiles (Newman, 1988 ; Simard, Durall, 2004). En outre, les champignons mycorhiziens favorisent la coexistence entre plusieurs espèces végétales, améliorant ainsi la productivité et la biodiversité végétales dans ces

écosystèmes (van der Heijden *et al.*, 1998 a, b ; Sanon *et al.*, 2006 ; Kisa *et al.*, 2007). Des travaux ont montré qu'il existait une translocation de métabolites *via* les ponts mycéliens créés par le réseau d'hyphes entre plusieurs plantes de la même et d'espèces différentes (Yao *et al.*, 2003 ; Simard, Durall, 2004), avec le cas particulier de la mycohétérotrophie où des plantes non chlorophylliennes (Orchidées, Éricacées) sont alimentées par leurs congénères photosynthétiques *via* ce réseau mycélien (Selosse *et al.*, 2006). Par ailleurs, les associations mycorhiziennes sont fortement impliquées dans la dynamique spatio-temporelle des écosystèmes. Il a été fréquemment observé que, en début de succession, marqué par une pauvreté du sol en propagules mycorhiziennes, ce sont les espèces végétales peu dépendantes de la symbiose mycorhizienne qui vont pouvoir s'installer. Par la suite, avec l'enrichissement du sol en propagules mycorhiziennes et son appauvrissement en éléments nutritifs, les espèces plus mycotrophes prendront la succession avec une forte corrélation positive entre les biodiversités fongique et végétale (Janos, 1980 ; van der Heijden *et al.*, 1998 a ; Hart *et al.*, 2003).

## Symbiose mycorhizienne et prolifération de *Striga* spp.

En Afrique, les céréales occupent une place importante dans le régime alimentaire des populations locales. Elles fournissent aux populations l'essentiel de leur ration calorique (70 à 80 %) selon les pays. Les céréales les plus consommées sont le maïs, le sorgho, le mil, le riz et le blé. Le maïs et le sorgho prennent la première place avec une production de 70,3 10<sup>6</sup> tonnes en 2005 sur une surface cultivée de 54,6 millions d'hectare sur les 100 millions d'hectares de terrains dédiés à la culture céréalière. Cette production représente un peu plus de 50 % de la production totale de céréales ainsi que de la superficie totale cultivée en Afrique. Cependant, son évolution est très variable avec une augmentation annuelle très faible d'environ 1,3 % ne permettant pas d'assurer l'autosuffisance alimentaire des populations locales. Ce faible taux de productivité annuelle est dû à l'action de plusieurs facteurs affectant la culture en elle-même notamment la dégradation de la fertilité des sols, la sécheresse, les problèmes phytosanitaires, les dégâts provoqués par les adventices, les plantes parasites, etc.

Les pratiques culturelles traditionnelles ont montré des résultats encourageants comme la mise en jachère des sols cultivés permettant d'améliorer la fertilité des sols. Or, l'utilisation seule de ces pratiques ancestrales ne suffit plus à limiter l'impact de certains pathogènes comme le cas des plantes parasites (*Striga*, *Alectra*, *Buchnera*, *Rhamphicarpa*) du fait d'une demande accrue des populations locales et d'une sur-exploitation des ressources naturelles.

Le *Striga* est une plante à fleur parasite obligatoire des racines qui entraîne un jaunissement des feuilles de la plante hôte suivi de son dessèchement total. Connu

en Afrique depuis la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, il constituera un véritable fléau au cours du XX<sup>e</sup> siècle (Olivier, 1995). D'après Musselman (1987), ce genre peut être originaire des montagnes de Nuba au Soudan et en Éthiopie, en particulier pour l'espèce *S. hermonthica*. Actuellement, elle est répandue aussi bien en Afrique qu'en Arabie Saoudite. Il existe 30 à 40 espèces et 80 % se rencontrent en Afrique dont les deux tiers dans l'ouest et le centre du continent et plus de la moitié dans l'est et le sud du continent. Neuf espèces sont natives d'Afrique et trois sont endémiques du continent australien (Parker, Riches, 1993).

Si la plupart de ces espèces ne montrent que peu d'effet pathogène significatif, celles qui parasitent les cultures peuvent être extrêmement ravageuses. En Afrique subsaharienne, les dégâts causés par ces parasites sont généralement très importants pour les producteurs locaux (Lenné, 2000). En effet, de nombreuses herbacées alimentaires cultivées en Afrique comme le fonio (*Digitaria excillis* L.), le maïs (*Zea mais* L.), le mil (*Pennisetum americanum* (L.) K. Schum), le riz (*Oryza sativa* L.), le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) et la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) sont parasitées par une ou plusieurs espèces de *Striga*. Les espèces les plus ravageuses sont *Striga hermonthica* (Del.) Benth et *Striga asiatica* (L.) Kuntze suivies de *Striga aspera* (Willd.) Benth et *Striga forbesii* Benth (Lenné, 2000).

Au cours de ces dernières décennies, des programmes de lutte ont été mis en place afin d'éradiquer cette plante parasite (utilisation des plantes pièges, pratique de cultures associées, lutte chimique et biologique) dans les pays du Nord. Toutefois, les techniques employées sont difficilement transférables aux agriculteurs des pays du Sud compte tenu des conditions socio-économiques du monde paysan rencontrées dans ces régions. De plus, l'impact du *Striga* est aggravé par sa prédilection à se développer sur des cultures déjà confrontées au stress nutritionnel (carences en N et P) et dépourvus d'amendements fertilisants, situation fréquente dans les pays tropicaux. Les champs peu fertiles, pauvrement aménagés par les agriculteurs, avec des apports de fertilisants limités, sont fortement infestés par le *Striga*. D'autres facteurs interviennent aussi dans cette propagation comme l'adaptation biologique de la plante parasite aux conditions climatiques des zones semi-arides, l'abondance, la taille et le poids infime des graines qui facilitent leur dissémination, la surexploitation des terrains aboutissant à l'épuisement des sols, les facteurs écologiques, climatiques et culturaux. Tous ces paramètres contribuent à la perte significative des récoltes, essentiellement les céréales qui constituent le plus souvent la nourriture de base de ces populations.

Le cycle de développement de *Striga* est couplé à celui de sa plante hôte. La plante phytoparasite produit de grandes quantités de graines de très petite taille qui restent viables dans le sol pendant plus d'une décennie. La germination de ces graines est induite par les exsudats racinaires de nombreuses plantes comme les céréales mais aussi des plantes dites « faux hôtes » ou « plantes pièges » qui induisent la germination de *Striga* mais ne permettent pas l'accomplissement de son cycle de développement. La germination des graines de *Striga* est induite par des molécules (Strigolactones) présentes en trace dans les exsudats racinaires (Bouwmeester *et al.*, 2003 ; Hirsch *et al.*, 2003). L'effet phytotoxique de *Striga* vis-à-vis de la plante

hôte se déroule principalement dans le sol avant l'émergence du phytoparasite démontrant la nécessité d'agir contre ce pathogène dans les premiers stades de son développement.

Des études récentes ont démontré que la symbiose mycorhizienne pouvait agir contre le développement de *Striga* soit indirectement en améliorant la nutrition minérale de la plante hôte (meilleure tolérance à l'infection par *Striga*), soit directement en inhibant la germination, l'attachement et l'émergence de la plante phytoparasite (Lendzemo, Kuyper, 2001). De plus, il a été montré que les dialogues moléculaires entre les plantes mycorhizées et la germination des spores de champignons mycorhiziens sont assurés par des molécules traces appartenant au groupe des Strigolactones, elles-mêmes impliquées dans la germination des graines de *Striga* (Akiyama *et al.*, 2005). Ce résultat permet d'envisager une technique de lutte intégrée contre le phanérogame phytoparasite en utilisant des plantes hypermycotrophes qui vont stimuler la germination des graines de *Striga* mais inhiber son développement (« faux hôtes » ou plantes pièges). Cette propriété est valorisée classiquement en Afrique par l'introduction dans des itinéraires culturaux de plantes pièges telles que le coton (Botanga *et al.*, 2003), l'arachide (Tenebe, Kamara, 2002), etc., qui sont associées à un cortège mycorhizien abondant et diversifié (plantes hypermycotrophes). De plus, comme il a été souligné précédemment, la symbiose mycorhizienne peut interagir positivement avec le développement d'autres groupes microbiens tels que celui des bactéries libres fixatrices d'azote (*Azospirillum* spp.) connues également pour être antagonistes de *Striga* (Bouillant *et al.*, 1997). La technique de Semis sous couvert végétal permanent (SCV) pourrait constituer un support idéal pour valoriser ce type d'interaction. En réponse aux pratiques culturales traditionnelles (labour, polyculture, abattis brûlis...), connues pour ses effets néfastes sur l'environnement, sous les contraintes de pression démographique enregistrées dans ces régions, le SCV offre des perspectives très intéressantes pour restaurer la fertilité chimique des sols dégradés, limiter l'érosion, contrôler l'enherbement, augmenter l'infiltration de l'eau, réduire l'évaporation et restaurer les fonctions naturelles de régulation des cycles biogéochimiques. La couverture végétale ainsi réalisée est généralement composée de plantes ayant des systèmes racinaires puissants et profonds et pouvant recycler les nutriments des horizons profonds vers la surface où ils peuvent être assimilés par les cultures principales (ex. : *Mucuna* sp.). Toutefois, les avantages de cette technique peuvent être élargis en diversifiant les ressources végétales utilisées dans la confection de cette couverture végétale permanente (en particulier en utilisant des plantes endémiques hautement mycotrophes et économiquement valorisables) et en évaluant leur impact sur certains indicateurs biologiques pertinents comme l'abondance et la diversité des symbiotes mycorhiziens dans le sol, cela afin de renforcer le rôle de la symbiose mycorhizienne en tant qu'agent biologique améliorant la croissance des plantes et inhibant le développement de pathogènes comme le *Striga*. Or, malgré les nombreuses études attestant de l'importance des champignons mycorhiziens dans le fonctionnement des sols, il n'existe pas à notre connaissance de travaux évaluant l'impact des composantes végétales utilisées en SCV sur le potentiel mycorhizien des sols et des fonctions qui lui sont associées (ex. : protection phytosanitaire, amélioration de la fertilité des sols, etc.). Alors que des observations attestent de l'effet

bénéfique de cette technique sur la dissémination de *Striga asiatica* à Madagascar, la valorisation de l'effet antagoniste des symbiotes mycorhiziens *via* la gestion du potentiel mycorhizien des sols avec des espèces végétales hypermycotrophes et endémiques des régions concernées est actuellement largement sous-estimée.

## La symbiose mycorhizienne et la valorisation des ressources en phosphate naturel des sols tropicaux

Les carences en phosphore biodisponible représentent la contrainte majeure des sols tropicaux limitant ainsi la productivité des agroécosystèmes (Vanlauwe *et al.*, 2002). Les fertilisants phosphatés sont généralement peu accessibles aux populations locales du fait de leur coût prohibitif et des stratégies culturales doivent être identifiées pour satisfaire les besoins en phosphore inorganique des cultures. En milieu tropical, la plupart des phosphates naturels (PN) minéraux sont d'origine sédimentaire et sont rarement utilisés en application directe comme fertilisant phosphaté. Les effets bénéfiques de l'introduction du PN dans un itinéraire cultural sont généralement observés dans des sols acides comme pour le maïs (Vanlauwe *et al.*, 2002) mais il a également été montré que la mise en place d'une rotation culturale adaptée de type légumineuse/céréales peut améliorer significativement l'impact de du PN sur la croissance de la plante. Certaines espèces de légumineuses sont connues pour leur capacité à altérer chimiquement des formes de phosphate inorganique complexes et ainsi mobiliser des formes de P soluble, biodisponible pour la plante (Braun, Helmke, 1995 ; Pypers *et al.*, 2006). Il est généralement proposé que cette altération du PN résulte principalement de l'acidification du compartiment rhizosphérique (Hinsinger, Gilkes, 1993) et par l'exsudation d'acides organiques (Hoffland, 1992). L'adoption de ce type de rotation culturale a pour principaux objectifs d'améliorer le processus de solubilisation du PN *via* les propriétés de la légumineuse. La culture céréalière mise en place à la suite de la légumineuse bénéficiera de cette biodisponibilité accrue de P mais également du phosphore issu de la décomposition de la biomasse aérienne et racinaire de la légumineuse (Horst *et al.*, 2001).

L'utilisation du pois mascate (*Mucuna pruriens*) a été largement adoptée par les populations paysannes en Afrique de l'Ouest, principalement pour sa capacité à éliminer les adventices (Tarawali *et al.*, 1999). De plus, et comme toutes les légumineuses nodulantes, cette espèce est capable de fixer l'azote atmosphérique (Houngnandan *et al.*, 2000) et ainsi améliorer la fertilité du sol (Carsky *et al.*, 1998). Vanlauwe *et al.*, (2000a, 2000b) ont clairement montré que l'apport de PN dans la rotation culturale *Mucuna*/maïs améliorerait significativement l'efficacité du PN sur le rendement cultural comparé aux effets observés lorsque ce PN était utilisé dans le

cadre d'une monoculture de maïs. Des effets similaires à ceux enregistrés avec le *Mucuna* ont été mesurés avec des espèces comme *Cajanus cajan* (L.) Millsp. (Shibata, Yano, 2003) ou *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Phiri *et al.*, 2003).

Comme il a été souligné précédemment, certaines plantes développent des stratégies leur permettant d'avoir accès à des formes de phosphate organique ou inorganique peu mobiles dans le sol. Ainsi, en conditions de carence en P, le lupin développe des racines protéoïdes (Gardner *et al.*, 1983 ; Dinkelaker *et al.*, 1989). Ces racines excrètent de grandes quantités de citrate qui a la capacité d'altérer des formes de phosphate de calcium (Ae *et al.*, 1990). Le pois d'angole peut également mobiliser du P à partir de complexes de phosphates de fer et d'aluminium (Ae *et al.*, 1990 ; Otami, Ae, 1996 ; Otami *et al.*, 1996). L'arachide présente une faible réponse à la fertilisation phosphatée suggérant ainsi que cette plante a la capacité de satisfaire ses besoins en P à partir de sources phosphatées complexes. Les racines de l'arachide excrètent également une quantité significative d'acides organiques dans la rhizosphère.

Les racines des plantes cultivées sont généralement mycorhizées par des CMA et lors de l'établissement de la symbiose, la prolifération des hyphes mycéliens dans le sol augmente le volume de prospection de la plante vis-à-vis des ressources minérales. Ces hyphes peuvent altérer ces formes complexes de phosphore et transférer le P biodisponible jusqu'à la plante. Ainsi Shibata, Yano (2003) ont démontré qu'il existait des synergies entre l'impact des exsudats racinaires et l'activité fongique au niveau des hyphes extramatriciels aboutissant à une meilleure mobilisation vers la plante de P biodisponible. Ainsi les techniques culturales susceptibles d'améliorer le potentiel mycorhizien des sols (ex. : rotations culturales) pourraient également améliorer l'efficacité des PN comme fertilisant en P et ainsi le rendement des cultures céréalières.

## Stratégies culturales et amélioration du potentiel mycorhizien des sols

Le potentiel mycorhizien des sols représente l'ensemble des formes de propagules mycorhiziennes (spores, hyphes, morceaux de racines mycorhizés, etc.). Afin d'optimiser l'effet mycorhizien sur le rendement des cultures, il convient donc de favoriser durablement l'établissement et le fonctionnement de la symbiose en agissant sur le potentiel mycorhizien tant au niveau de l'abondance des propagules que de leur diversité. Il a été démontré que dans les écosystèmes tropicaux dégradés, l'adoption de pratiques conventionnelles telles que le labour, le recours à des engrais chimiques ou des pesticides pouvait engendrer de profonds dysfonctionnements dans l'agroécosystème susceptibles de remettre en cause sa capacité à satisfaire les

services écosystémiques attendus (services d'approvisionnement, de régulation, culturels et sociaux). Les bases conceptuelles de la mise en œuvre d'une agriculture durable à faibles apports d'intrants reposent sur les connaissances acquises dans les mécanismes biologiques régissant le biofonctionnement des sols et plus particulièrement ceux impliqués dans le maintien de leur fertilité. En conséquence, l'objectif est de promouvoir les interactions entre les composantes biologiques du sol *via* différents types d'intervention (rotation culturale, agroforesterie, etc.) afin d'optimiser les ressources de l'agroécosystème et promouvoir le rendement de la culture (Altieri, 2002). Les CMA sont considérés comme étant peu spécifiques vis-à-vis de la plante hôte, même si de récentes études tendent à démontrer une certaine spécificité jusqu'alors sous-estimée (Opik *et al.*, 2009 ; Chagnon *et al.*, 2011 ; Jacquemyn *et al.*, 2011). Cette relative absence de spécificité permet aux symbiotes fongiques de pouvoir infecter différentes espèces végétales mais également de former des ponts mycéliens entre les plantes. Ces réseaux mycéliens permettent également des transferts d'éléments nutritifs entre les plantes (ex. : légumineuses/céréales) comme il a été démontré pour l'azote (He *et al.*, 2003). Dans les agroécosystèmes gérés selon des techniques d'agroécologie (ex. : en y intégrant des espèces pérennes et en limitant les opérations de labour), le réseau mycélien est généralement intact. Par contre, dans les cas de monocultures répétées d'espèces annuelles, ces réseaux sont profondément altérés entraînant une faible mycorhization des jeunes plants (plus particulièrement en début de culture) et une faible croissance de la plante (Kuyper *et al.*, 2004). Il a été montré que cette diminution du développement de l'espèce cultivée pouvait être attribuée à une nutrition en P limitée dans le cas du maïs (Miller, 2000) ou à une faible nodulation comme pour le soja (Goss, De Varennes, 2002).

Dans ce chapitre d'ouvrage, nous présenterons deux exemples de pratiques culturales susceptibles d'entretenir un niveau de potentiel mycorhizien adéquat pour maintenir la fertilité des sols : la rotation culturale et la pratique d'agroforesterie.

L'effet positif des rotations culturales sur la richesse et l'abondance des propagules mycorhiziennes dans le sol a été relaté par de nombreuses études. Par exemple, il a été montré qu'une année de culture avec une plante peu dépendante de la symbiose mycorhizienne entraînait une baisse de 13 % de l'infection mycorhizienne des plants de la culture suivante (Harinikumar, Bagyaraj, 1988). Le recours à des espèces végétales hautement mycotrophes permet à l'agroécosystème de recouvrer sa fertilité en favorisant en particulier la multiplication des propagules mycorhiziennes (abondance) et le maintien de leur diversité. Une baisse de rendement a ainsi été observée suite à des monocultures de maïs et de soja et ce déclin a été attribué à un effet sélectif de la plante cultivée au niveau des communautés de CMA en favorisant des souches fongiques moins performantes quant à leur effet sur le développement de la plante (Johnsson *et al.*, 1992). Au Bénin, il a été aussi démontré que l'activité fixatrice d'azote de *Mucuna pruriens*, une espèce très utilisée pour améliorer les jachères et pour lutter contre une adventice, *Imperata cylindrica*, était relativement faible du fait d'un déficit en rhizobia efficaces mais également de carences en P biodisponible. Pour remédier à ce dysfonctionnement de la symbiose fixatrice, il a été proposé d'adopter une technique culturale susceptible d'améliorer le potentiel mycorhizien sachant que des interactions synergiques sont généralement observées entre l'établis-

sement de la symbiose mycorhizienne et de la symbiose rhizobienne (Cardoso, Kuyper, 2006). De nombreuses études attestent de l'effet dépressif de la monoculture sur l'abondance et la diversité des propagules mycorhiziennes dans le sol ainsi que sur les réseaux d'hyphes mycéliens (Plenchette *et al.*, 2005 ; Gosling *et al.*, 2006). En dépit du potentiel avéré que la symbiose mycorhizienne peut développer pour améliorer durablement la productivité des agroécosystèmes, il subsiste de nombreuses lacunes quant aux connaissances relatives aux fonctions réelles des CMA dans le fonctionnement du sol cultivé ainsi qu'à l'impact des pratiques culturales sur le potentiel mycorhizien (Kahiluoto, 2000 ; Kahiluoto *et al.*, 2009).

La pratique de l'agroforesterie offre de nombreux avantages dans une perspective de gestion durable des ressources naturelles. L'arbre au sein du système peut être source de fourrage, d'aliments (ex. : arbres fruitiers), augmenter les teneurs en matière organique, limiter les processus d'érosion, favoriser le recyclage d'éléments nutritifs grâce à son enracinement profond, etc. Paradoxalement peu d'études ont été entreprises pour évaluer l'impact de l'arbre sur le potentiel mycorhizien du sol et ses répercussions sur les rendements culturaux (Cardoso *et al.*, 2003). Il est pourtant connu que la majeure partie des arbres utilisés en agroforesterie est hautement mycotrophes (ex. : arbres fixateurs d'azote) (Smith, Read, 2008). En utilisant des plantes pionnières, généralement associées à d'importantes communautés mycorhiziennes, il est possible d'améliorer le statut mycorhizien de l'essence agroforestière au cours de la phase d'élevage en pépinière et ainsi introduire au sein du système un inoculum mycorhizien abondant et diversifié (Duponnois, *comm. pers.*) qui optimisera dans un premier temps les performances de la plantation de l'arbre (croissance accrue, baisse de la crise de transplantation) (Duponnois *et al.*, 2005, 2007). De par ses fonctions au sein du système, l'arbre agira en tant que réservoir à propagules de CMA susceptibles de s'associer aux espèces cultivées et ainsi améliorer le rendement de la culture.

## Conclusion

Comme nous l'avons vu, l'élaboration de pratiques culturales durables et respectueuses de l'environnement doit se référer aux mécanismes impliqués dans le fonctionnement de systèmes non anthropisés, à savoir des écosystèmes naturels. De nombreuses études ont été entreprises ces dernières années sur le rôle des CMA dans la productivité et la stabilité d'écosystèmes naturels (Bever, 1999 ; van der Heijden, Sanders, 2002). Ces travaux ont mis en évidence le rôle majeur de la diversité et de l'abondance des propagules mycorhiziennes dans la structuration de la strate épigée (Kliromonos, 2002). En retour, les caractéristiques du couvert végétal vont également influencer l'évolution des communautés de CMA dans le sol (Bever *et al.*, 2002 ; Wolfe *et al.*, 2005). Les mécanismes impliqués dans ces interactions sont principalement assujettis aux facteurs biologiques suivants : (1) la spécificité fonctionnelle du couple espèce végétale/communauté de CMA (van der Heijden *et al.*, 1998) ; (2) la dépendance mycorhizienne de l'espèce végétale



considérée ; (3) la distribution de la plante au sein de la couverture végétale (plante rare vs plante abondante) (van der Heijden *et al.*, 2006).

Les résultats obtenus ont permis d'établir plusieurs bases conceptuelles définissant l'écologie de la symbiose mycorhizienne, à savoir :

– la symbiose impliquant les CMA ne montre pas de spécificité *sensu stricto* vis-à-vis de la plante (des CMA peuvent s'associer à différentes espèces végétales) mais il s'avère que des écotypes mycorhiziens peuvent être plus ou moins efficaces selon la plante hôte considérée (Sanders, 2002) ;

– le mycélium extramatriciel formant des réseaux d'hyphes mycéliens dans le sol constitue une source majeure de propagules mycorhiziennes pour les plantes constituant le couvert végétal (Read, 1998) ;

– les réseaux d'hyphes mycéliens constituent une composante essentielle dans les processus biologiques assurant une exploitation optimale des ressources en nutriments du sol (en particulier le P) plus particulièrement dans les milieux arides (Allen, 2007) ;

– l'établissement de la symbiose mycorhizienne a un effet qualitatif et quantitatif sur la structure de la microflore du sol (effet mycorhizosphère) en privilégiant en particulier la multiplication de micro-organismes saprophytes présentant des propriétés bénéfiques pour le développement de la plante (Johansson *et al.*, 2004).

L'adoption de pratiques culturales pour assurer une conservation et une gestion durable des terres doit prendre en compte ces connaissances acquises sur l'écologie de la symbiose mycorhizienne en privilégiant les ressources naturelles environnementales (ressources végétales et microbiennes), en préservant les composantes de la symbiose et en particulier l'intégrité des réseaux extramatriciels et surtout en évitant d'introduire des éléments étrangers au système (introduction d'espèces végétales ou de CMA exotiques). En dépit de l'ensemble de ces connaissances montrant l'opportunité de gérer cette composante microbienne du sol, force est de constater que de nombreuses lacunes subsistent et que des études montrant l'effet à long terme de la gestion du potentiel mycorhizien sur la qualité des sols doivent être entreprises surtout dans les situations de stress (stress hydrique) afin de contribuer à la définition de pratiques culturales susceptible de garantir la capacité de résilience d'agro- et écosystèmes dans le contexte de changement climatique global.

## Bibliographie

Ae, N., Arihara, J., Okada, K., Yoshihara, T., Johansen, C. (1990). Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indians subcontinent. *Science*, 248 : 477- 480.

Akiyama, K., Matsuzaki, K., Hayashi, H. (2005). Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, 435 : 824-827.

Allen, M.F. (2007). Mycorrhizal fungi : highways for water and nutrients in arid soils. *Vadose Zone Journal*, 6 : 291-297.

Altieri, M. (2002). Agroecology : the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystem, Environment*, 93 : 1-24.

- Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11 : 3-42.
- Bever, J.D. (1999). Dynamics within mutualism and the maintenance of diversity : inference from a model of interguild frequency dependence. *Ecology Letters*, 2 : 52-62.
- Bever, J.D., Pringle, A., Schultz, P.A. (2002). Dynamics within the plant – arbuscular mycorrhizal fungal mutualism : testing the nature of community feedback. In : van der Heijden, M.G.A., Sanders, I.R. (Eds.), *Mycorrhizal Ecology*. Springer, Berlin : 267-292.
- Botanga, C.J., Alabi, S.O., Echekwu, C.A., Lagoke, S.T.O. (2003). Genetics and suicidal germination of *Striga hermonthica* (Del.) Benth. by cotton. *Crop Science*, 43 : 483-488.
- Bouillant, M.-L., Miché, L., Ouedraogo, O., Alexandre, G., Jacouda, C., Sallé, G., Bally, R. (1997). Inhibition of *Striga* seed germination associated with sorghum growth promotion by soil bacteria. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 320 : 159-162.
- Bouwmeester, H.J., Matusova, R., Zhongkui, S., Beale, M.H. (2003). Secondary metabolite signalling in host-parasitic plant interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 6 : 358-364.
- Braun, S.M., Helmke, P.A. (1995). White lupin utilizes soil phosphorus that is unavailable to soybean. *Plant and Soil*, 176 : 95-100.
- Cardoso, I.M., Kuyper, T.W. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 116 : 72-84.
- Cardoso, I.M., Boddington, C., Janssen, B.H., Oenema, O., Kuyper, T.W. (2003). Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58 : 33-43.
- Carsky, R.J., Tarawali, S.A., Becker, M., Chikoye, D., Tian, G., Sanginga, N. (1998). *Mucuna*-herbaceous legume with potential for multiple uses. Resource and Management Research, Monograph No. 25. IITA, Ibadan, 52 p.
- Chagnon, P.-L., Bradley, R.L., Klironomos J.N. (2011). Using ecological network theory to evaluate the causes and consequences of arbuscular mycorrhizal community structure. *New Phytologist*, doi : 10.1111/j.1469-8137.2011.04044.x.
- Cordell, D., Drangert, J.-O., White, S. (2009). The Story of Phosphorus : Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19 : 292-305.
- Dalgaard, T., Hutchings, N.J., Porter, J.R. (2003). Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agricultural, Ecosystems, Environment*, 100 : 39-51.
- Dinkelaker, B., Römheld, V., Marschner, H. (1989). Citric acid excretion precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Cell, Environment*, 12 : 285-292.
- Duponnois, R., Cadet, P. (1994). Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. on growth and N<sub>2</sub> fixation of *Acacia seyal*. *Afro Asian Journal of Namatology*, 4 : 228-233.
- Duponnois, R., Colombet, A., Hien, V., Thioulouse, J. (2005a). The Mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology, Biochemistry*, 37 : 1460-1468.
- Duponnois, R., Founoune, H., Masse, D., Pontanier, R. (2005b). Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semi-arid site in Senegal : growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, 207 : 351-362.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Duponnois, R., Plenchette, C., Prin, Y., Ducouso, M., Kisa, M., Bâ, A.M., Galiana, A. (2007). Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian *Acacia* in Sahelian ecozones. *Ecological engineering*, 29 : 105-112.
- Ewel, J.J. (1999). Natural systems as a model for the design of sustainable systems of land use. *Agroforestry Systems*, 45 : 1-21.
- Gardner, W.K., Barber, D.A., Parbery, D.G. (1983). The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III. The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. *Plant, Soil*, 70 : 107-124.
- Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W. (2003). *Le sol vivant*, 2e Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne, 568 p.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., Bending, G.D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 113 : 17-35.
- Goss, M.J., De Varennes, A. (2002). Soil disturbance reduces the efficacy of mycorrhizal associations for early soybean growth and N<sub>2</sub> fixation. *Soil Biology, Biochemistry*, 34 : 1167-1173.
- Harinikumar, K.M., Bagyaraj, D.J. (1988). Effects of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant, Soil*, 110 : 77-80.
- Hart, M.M., Reader, R.J., Klironomos, J.N. (2003). Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Trends in Ecology, Evolution*, 18 : 418-423.
- He, X., Nara, K. (2007). Element biofortification : can mycorrhizas potentially offer a more effective and sustainable pathway to curb human malnutrition? *Trends in Plant Science*, 12 : 331-333.
- He, X.H., Critchley, C., Bledsoe, C. (2003). Nitrogen transfer within and between plants through common mycorrhizal networks (CMNs). *Critical Review in Plant Sciences*, 22 : 531-567.
- Hinsinger, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes : A review. *Plant, Soil*, 237 : 173-195.
- Hinsinger, P., Gilkes, R.J. (1997). Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, P-fixing mineral substrate. *Geoderma*, 75 : 231-249.
- Hirsch, A.M., Bauer, D.W., Bird, D.M., Cullimore, J., Tyler, B., Yoder, J.I. (2003). Molecular signals and receptors : controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms. *Ecology*, 84 : 858-868.
- Hoffland, E. (1992). Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. *Plant, Soil*, 140 : 279-289.
- Horst, W.J., Kamh, M., Jibrin, J.M., Chude, V.O. (2001). Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant, Soil*, 237 : 211-223.
- Houngnandan, P., Sanginga, N., Woome, P., Vanlauwe, B., van Cleemput, O. (2000). Response of *Mucuna pruriens* to symbiotic N fixation by rhizobia following inoculation in farmers' fields in the derived Savannah of Benin. *Biology and Fertility of Soils*, 30 : 558-565.
- Jacquemyn, H. Merckx, V., Brys, R., Tyteca, D., Cammue, B. P., Honnay, O., Lievens, B. (2011). Analysis of network architecture reveals phylogenetic constraints on mycorrhizal specificity in the genus *Orchis* (Orchidaceae). *New Phytologist*, 192 : 518-528.
- Janos, D.P. (1980). Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12 : 56-64.
- Janssen, B. H., De Willigen, P. (2006). Ideal and saturated soil fertility as bench marks in nutrient management. 1. Outline of the framework. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 116 : 132-146.

- Johansson, J.F., Paul, L.R., Finlay, R.D. (2004). Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology*, 48 : 1-13.
- Johnson, D., Leake, J.R., Ostle, N., Ineson, P., Read, D.J. (2002). In situ (CO<sub>2</sub>)-C-<sup>13</sup> pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*, 153 : 327-334.
- Johnson, N.C., Copeland, P.J., Crookston, R.K., Pflieger, F.L. (1992). Mycorrhizae : possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. *Agronomy Journal*, 84 : 387-390.
- Joner, E.J., Leyval, C. (2003). Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. *Environmental Science, Technology*, 37 : 2371-2375.
- Kahiluoto, H. (2000). A Systems Approach to the Management of Arbuscular Mycorrhiza - Bioassay and Study of the Impact of Phosphorus Supply. Univ. of Helsinki, Dep. of Appl. Biol., Publ. 1, Helsinki.
- Kahiluoto, H., Ketoja, E., Vestberg, M. (2009). Contribution of arbuscular mycorrhiza to soil quality in contrasting cropping systems. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 134 : 36-45.
- Khan, Z.R., Hassanal, A., Overholt, W., Khamis, T.M., Hooper, A.M., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M. (2002). Control of witchweed *Striga hermonthica* by intercropping with *Desmodium* spp., and the mechanism defined as allelopathic. *Journal of Chemical Ecology*, 28 : 1871-1885.
- Kisa, M., Sanon, A., Thioulouse, J., Assigbetse, K., Sylla, S., Spichiger, R., Dieng, L., Berthelin, J., Prin, Y., Galiana, A., Lepage, M., Duponnois, R. (2007). Arbuscular mycorrhizal symbiosis counterbalance the negative influence of the exotic tree species *Eucalyptus camaldulensis* on the structure and functioning of soil microbial communities in a sahelian soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 62 : 32-44.
- Klironomos, J.N. (2002). Another form of bias in conservation research. *Science*, 298 : 749-750.
- Kuyper, T.W., Cardoso, I.M., Onguene, N.A., Murniati, Van Noordwijk, M. (2004). Managing mycorrhiza in tropical multispecies agroecosystems. In : Van Noordwijk, M., Cadish, G., Ong, C.K. (Eds.), *Below-Ground Interactions in Tropical Agroecosystems*. CABI, Wallingford : 243-261.
- Lambers, H., Raven, J.A., Shaver, G.R., Smith, S.E. (2008). Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology, Evolution*, 23 : 95-103.
- Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R.D., Kuyper, T.W., van Breemen, N. (2001). Linking plant to rocks : ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology, Evolution*, 16 : 248-255.
- Lenzemo, V.W., Kuyper, T.W. (2001). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on damage by *Striga hermonthica* on two contrasting cultivars of sorghum, *Sorghum bicolor*. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 87 : 29-35.
- Lenné, J. (2000). Pests and poverty : the continuing need for crop protection research. *Outlined Agriculture*, 29 : 235-250.
- Leyval, C., Joner, E.J. (2001). Bioavailability of heavy metals in the mycorrhizosphere. in : Trace elements in the rhizosphere. CRC Press : 165-185.
- Linderman, R.G. (1988). Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora : the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology*, 78 : 366-371.
- Lovelock, C.E., Wright, S.F., Clark, D.A., Ruess, R.W. (2004). Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*, 92 : 278-287.
- McGonigle, T.P., Miller, M.H. (1999). Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. *Applied Soil Ecology*, 12 : 41-50.

- Miller, M.H. (2000).  
Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize : a review of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 80 : 47-52.
- Musselman, L. J. (ed.). (1987).  
Taxonomy of witchweeds. Pages 3-12.  
In *Parasitic weeds in agriculture volume I : Striga*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A., 317 p.
- Newman, E.I. (1988).  
Mycorrhizal links between plants : their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research*, 18 : 243-270.
- Norman, M.J.T., Pearson, C.J., Searle, P.G.E. (1995). *The Ecology of Tropical Food Crops*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ohwaki, Y., Hirata, H. (1992).  
Differences in carboxylic acid exudation among P-starved leguminous crops in relation to carboxylic acid contents in plant tissues and phospholipid level in roots. *Soil Sciences, Plant Nutrition*, 38 : 235-243.
- Olivier, A. (1995).  
Le *Striga*, mauvaises herbes parasites des céréales africaines : biologie et méthode de lutte. *Agronomie* 15, Elsevier/INRA ed. : 517-525.
- Olsson, P.A., Thingstrup, I., Jakobsen, I., Bååth, E. (1999).  
Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 : 1879-1887.
- Opik, M., Metsis, M., Daniell, T. J., Zobel, M., Moora, M. (2009).  
Large-scale parallel 454 sequencing reveals host ecological group specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreonemoral forest. *New Phytologist*, 184 : 424-437.
- Otani, T., Ae, N. (1996). Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. I. Screening of crops for efficient P uptake. *Soil Sciences, Plant Nutrition*, 42 : 155-163.
- Otani, T., Ae, N., Tanaka, H. (1996).  
Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeonpea. *Soil Sciences, Plant Nutrition*, 42 : 553-560.
- Parker, C., Riches, C.R. (1993).  
*Parasitic Weeds of the World : Biology and Control*. CAB International, Wallingford, UK.
- Phiri, S., Rao, I.M., Barrios, E., Singh, B.R. (2003).  
Plant growth, mycorrhizal association, nutrient uptake and phosphorus dynamics in a volcanic-ash soil in Colombia, as affected by the establishment of *Tithonia diversifolia*. *Journal of Sustainable Agriculture*, 21 : 41-59.
- Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J.M., Fortin, J.A. (2005).  
Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 85 : 31-40.
- Pypers, P., Van Loon, L., Diels, J., Abaidoo, R., Smolders, E., Merckx, R. (2006).  
Plant available P for maize and cowpea in P-deficient soils from the Nigerian Northern Guinea savanna - Comparison of E- and L-values. *Plant and Soil*, 283 : 257-270.
- Rambelli, A. (1973).  
The Rhizosphere of Mycorrhizae. in : Marks GL, Koslowski TT (eds.) : *Ectomycorrhizae, their ecology and physiology*. Academic Press, New York : 299-343.
- Read, D. (1998).  
Biodiversity - plants on the web. *Nature*, 396 : 22-23.
- Rillig, M.C., Mummey, D.L. (2006).  
Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171 : 41-53.
- Sanchez, P.A., Palm, C.A., Buol, S.W. (2003).  
Fertility capability soil classification, a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114 : 157-185.
- Sanders, I.R. (2002).  
Specificity in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. In : van der Heijden, M.G.A., Sanders, I.R. (Eds.), *Mycorrhizal Ecology*. Springer, Berlin : 415-437.
- Sanon, A., Martin, P., Thioulouse, J., Plenchette, C., Spichiger, R., Lepage, M., Duponnois, R. (2006).  
Displacement of an herbaceous plant species community by Mycorrhizal and non-mycorrhizal *Gmelina arborea*, an exotic tree, grown in a microcosm experiment. *Mycorrhiza*, 16 : 125-132.

- Selosse, M.-A., Richard, F., He, X., Simard, S.W. (2006). Mycorrhizal networks : des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology, Evolution*, 21 : 621-628.
- Shibata, R., Yano, K. (2003). Phosphorus acquisition from non-labile sources in peanut and pigeonpea with mycorrhizal interaction. *Applied Soil Ecology*, 24 : 133-141.
- Simard, S.W., Durall, D.M. (2004). Mycorrhizal networks : a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82 : 1140-1165.
- Smith, S.E., Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, London, UK.
- Tarawali, G., Manyong, V.M., Carsky, R.J., Vissoh, P.V., Osei-Bonsu, P., Galiba, M. (1999). Adoption of improved fallows in West Africa : lessons from mucuna and stylo case studies. *Agroforestry Systems*, 47 : 93-122.
- Tenebe, V.A., Kamara, H.M. (2002). Effect of *Striga hermonthica* on the growth characteristics of sorghum intercropped with groundnut varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188 : 376-381.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418 : 671-677.
- van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. (1998a) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396 : 69-72.
- Van der Heijden, M.G.A., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. (1998b). Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*, 79 : 2082-2091.
- Van der Heijden, M.G.A., Sanders, I.R. (2002). *Mycorrhizal Ecology*. Springer, Berlin.
- Van der Heijden, M.G.A., Streitwolf-Engel, R., Riedl, R., Siegrist, S., Neudecker, A., Ineichen, K., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. (2006). The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. *New Phytologist*, 172 : 739-752.
- Vanlauwe, B., Nwoke, O.C., Diels, J., Sanginga, N., Carsky, R.J., Deckers, J., Merckx, R. (2000a). Utilization of rock phosphate on a representative topequence in the Northern Guinea savanna zone of Nigeria : response by *Mucuna pruriens*, *Lablab purpureus* and maize. *Soil Biology, Biochemistry*, 32 : 2063-2077.
- Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Carsky, R.J., Deckers, J., Merckx, R. (2000b). Utilization of rock phosphate by crops on a representative topequence in the Northern Guinea savanna zone of Nigeria : response by maize to previous herbaceous legume cropping and rock phosphate treatments. *Soil Biology, Biochemistry*, 32 : 2079-2090.
- Wolfe, B.E., Husband, B.C., Klironomos, J.N. (2005). Effects of a belowground mutualism on an aboveground mutualism. *Ecology Letters*, 8 : 218-223.
- Yao, Q., Li, X.L., Ai, W.D., Christie, P. (2003). Bi-directional transfer of phosphorus between red clover and perennial ryegrass via arbuscular mycorrhizal hyphal links. *European Journal of Soil Biology*, 39 : 47-54.
- Young, A. (1997). *Agroforestry for Soil Management*, second ed. ICRAF and CAB International, Wallingford, UK.
- Zhu, Y.-G., Miller, R.M. (2003). Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Trends in Plant Sciences*, 8 : 407-409.



# Les rhizobactéries productrices d'exopolysaccharides et la gestion durable des sols

THIERRY HEULIN

Wafa Achouak

Laboratoire d'Écologie Microbienne de la Rhizosphère et des Environnements extrêmes (LEMIRE),  
UMR 7265 BVME CEA-CNRS-Université Aix-Marseille,  
Institut de Biologie Environnementale et de Biotechnologies (IBEB, DSV, CEA),  
CEA Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance, France

## Introduction

Les travaux sur les bactéries productrices d'exopolysaccharides (EPS) sont très nombreux et anciens au niveau international (Sutherland, 2001). Le moteur principal de ces travaux est la recherche de nouveaux biopolymères pour l'industrie de la cosmétologie et l'agro-alimentaire. À l'inverse, les travaux concernant le rôle de ces bactéries productrices d'EPS dans la modification de la structure du sol et son impact sur la croissance des plantes sont beaucoup plus rares et plus récents (Ashraf *et al.*, 2004 ; Kaci *et al.*, 2005 ; Sandhya *et al.*, 2009). De tels travaux sur les bactéries productrices d'EPS, et plus particulièrement les populations bactériennes qui sont stimulées dans la rhizosphère des plantes, ont historiquement démarré au Lemire dans les années 1980 dans le cadre du programme de recherche « Essor des biotechnologies » (1983-1987). Ce programme avait pour objectif de rechercher de nouvelles souches bactériennes productrices d'EPS dans la rhizosphère de diverses plantes (Hebbar *et al.*, 1992), en partenariat avec le Cermav (Centre de recherches sur les macromolécules végétales, Grenoble) et des industriels pour leur valorisation.

Le second fait marquant ayant déclenché, au sein du Lemire, les travaux sur les bactéries productrices d'EPS est une observation faite à la suite de l'inoculation au champ de *Paenibacillus polymyxa*, une bactérie fixatrice d'azote ayant des propriétés de promotion de la croissance des plantes (PGPR, Plant Growth-Promoting Rhizobacteri). Le suivi post-inoculation de la population de *P. polymyxa*, effectué par une méthode immuno-enzymatique (Elisa), avait permis de mettre en évidence que la masse de sol adhérent par unité de masse racinaire était significativement



augmentée dans les traitements inoculés (Gouzou *et al.*, 1993). Nous avons ensuite démontré que la production du lévane (EPS de type homofructane) par *P. polymyxa* était responsable de cet effet sur la structuration du sol adhérant aux racines (Bezzate *et al.*, 2000). Cette première démonstration claire de l'implication d'un EPS bactérien dans la structuration du sol a constitué le démarrage d'une série de travaux sur la contribution des bactéries productrices d'EPS dans la rhizosphère des plantes (SARhi, pour « Soil-Aggregating Rhizobacteria ») :

– *Pantoea agglomerans* dans la rhizosphère du blé dur sur un vertisol du Maroc (Amellal *et al.*, 1998, 1999) ;

– *Burkholderia caribensis* dans la rhizosphère des graminées prairiales sur vertisol de Martinique (Achouak *et al.*, 1999 ; Vanhaverbeke *et al.*, 2001) ;

– *Rhizobium alamii* dans la rhizosphère du tournesol sur un dystric cambisol de St Florent sur Cher (Alami *et al.*, 1998, 2000a, 2000b).

Dans la rhizosphère, les SARhi modifient la porosité du sol sous l'action des EPS que les bactéries produisent en transformant une partie de la source de carbone et d'énergie qu'elles consomment (exsudats racinaires, notamment). Ces EPS bactériens produits entre les agrégats du sol en modifient la porosité (Chenu, 1995 ; Alami *et al.*, 2000a). Ainsi la porosité du sol, qui est directement liée au transfert d'eau du sol vers les racines, est en partie contrôlée par l'activité bactérienne. Les EPS bactériens produits à la surface des racines contribuent également au maintien du film d'eau nécessaire à l'activité photosynthétique et à la croissance des plantes.

Les EPS bactériens, en condition de stress hydrique dans le sol, permettent de limiter/retarder la dessiccation du milieu. À l'inverse, en cas d'excès d'eau (averses, inondations), les EPS contribuent à éviter la dispersion des argiles du sol (Henaou et Mazeau, 2009 ; Blanchart *et al.*, 2000 ; Cabidoche *et al.*, 2000).

Même s'il en existe d'autres, le principal facteur limitant de la production d'EPS dans la rhizosphère est très probablement le carbone exsudé par la plante. Cette liaison directe entre la quantité de carbone exsudé par la plante et le potentiel de production d'EPS par les bactéries dans la rhizosphère n'a jamais été démontrée de façon directe. Nous avons malgré tout mis en évidence, chez le tournesol, une corrélation positive entre la croissance de la plante et la masse de sol adhérant aux racines (Alami *et al.*, 2000a)

## Comment intégrer ces données au contexte sahélien ?

### Le risque

La dégradation des sols due à la gestion inappropriée des terres, des ressources en eau et des systèmes agro-sylvo-pastoraux, en particulier dans un contexte de changements climatiques.

## L'objectif

La lutte contre la désertification dans les milieux arides et subarides, car c'est une des priorités majeures des États sahélo-sahariens du Circum-Sahara.

## Sans oublier

Le savoir traditionnel endogène qui a permis aux populations sahéliennes de lutter et de développer à travers des décennies une forme de résilience face aux perturbations environnementales.

## Le contexte agro-sylvo-pastoral

Définir le contexte sahélien et plus particulièrement celui la zone GMV au Sénégal.

– Le régime hydrique (pluviométrie, nappes).

– Les sols.

– La teneur des sols en C organique : de 0,2 à 0,4 % (12 000 à 24 000 kg SOC/ha - Volume : 1 ha sur une profondeur de 40 cm [ $10\,000\text{ m}^2 \times 0,4\text{ m} = 4\,000\text{ m}^3$ ] avec une densité [à vérifier] de  $1\,500\text{ kg/m}^3$ ). (Woomer et al., 2004).

– Le couvert végétal : arbres (*Acacia*, *Balanites*) et prairies naturelles (*Pennisetum*, *Agrostis*, *Bossiaea*...).

Même si la question de l'alimentation hydrique des arbres (*Acacia*, *Balanites*) constitue un enjeu important, l'impact des SARhi sur leur croissance ne fait pas l'objet, pour l'instant, de notre réflexion sur cette composante du couvert végétal. Une réflexion sur cet axe sera menée en commun avec les partenaires microbiologistes du projet (Laboratoire d'écologie microbienne, Villeurbanne).

Dans un premier temps, le principal enjeu concerne les graminées et, plus tard, les légumineuses. Pourquoi privilégier les graminées ?

– Le premier argument concerne les données floristiques : les graminées constituent les populations végétales dominantes de la strate herbacée.

– Le deuxième argument est relatif au fait que les graminées sont décrites comme étant les espèces végétales injectant un pourcentage très élevé du carbone photosynthétisé dans le sol par unité de biomasse aérienne, en particulier sous forme d'exsudats racinaires (Kuzyakov et Domanski, 2000).

– Le troisième argument est que la diversité de ces graminées devrait permettre de faire des comparaisons inter-espèces d'efficacité de transfert du carbone dans les sols.

Le contexte agro-sylvo-pastoral de cette zone sahélo-saharienne est caractérisé par une productivité végétale fortement limitée par la ressource en eau. Cette faible productivité végétale a pour conséquence directe que peu de carbone est injecté dans le sol, que ce soit sous forme d'exsudats racinaires ou *via* le turnover des racines. Ceci contribue à la faiblesse du taux de carbone des sols (0,2 à 0,4 % en zone sahélienne de transition, Woomer *et al.*, 2004), qui se traduit par une faible rétention d'eau, nécessaire à la croissance des plantes. Il s'agit donc d'un « cercle vicieux » qu'il faut arriver à rompre.

## La question à laquelle nous voulons répondre :

*Peut-on rétablir un cercle « vertueux » en agissant sur la composante végétale, et en particulier sur celle des graminées, en sélectionnant les écotypes (génotypes) injectant le plus de carbone dans le sol ?*

Pour pouvoir répondre à cette question, nous avons identifié trois conditions :

1- Il faut pouvoir travailler sur la diversité des graminées adaptées au milieu étudié (inventaires des écotypes par espèce). Cette étape de la démarche doit être prise en charge par des phytosociologues.

2- Il faut pouvoir réaliser un screening reposant sur une méthode de phénotypage des écotypes/génotypes les plus performants à l'aide d'une méthode simple et intégrative des différentes composantes de l'agrosystème.

Sur une ou deux espèces dominantes (en fréquence) dans une région donnée, l'idée serait de récolter des graines sur une trentaine de plantes et de tester une trentaine de graines/plante sur le sol de référence. Outre les caractéristiques morphologiques (taille et masse des parties aériennes et racinaires) de ces centaines de plantes, il faut calculer le ratio « masse de sol adhérant aux racines (RAS)/masse de racine (RT) » (RAS/RT) pour identifier les écotypes favorisant l'activité des bactéries productrices d'EPS, se traduisant par la forte adhésion du sol aux racines. Le protocole est détaillé en annexe I.

3- Il faut pouvoir travailler sur le moyen-long terme pour suivre l'impact des écotypes/génotypes sélectionnés sur l'évolution de la teneur des sols en carbone. Une telle démarche n'ayant jamais été testée en conditions « naturelles », nous n'avons aucun recul sur le temps nécessaire pour observer une augmentation significative de cette teneur des sols en carbone. De plus, une telle démarche développée sur plusieurs sites inclus dans le projet de la GMV (Sénégal, Burkina Faso) permettrait d'évaluer la pertinence de cette démarche dans des conditions pédoclimatiques différentes (approche multilocale).

La démarche qui est proposée ici pour un système agro-sylvo-pastoral en zone sahélo-saharienne pourrait être appliquée à tout autre agrosystème dans la mesure où la ressource génétique de la plante cultivée est disponible.

## Références bibliographiques

Achouak W, Christen R, Barakat M, Martel MH, Heulin T (1999) *Burkholderia caribensis* sp. nov., an exopolysaccharide-producing bacterium isolated from vertisol micro-aggregates in Martinique. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 49 : 787-94.

Achouak W, Heulin T, Villemin G, Balandreau J (1994) Root colonization by symbiosome-forming *Enterobacter agglomerans*. *FEMS Microbio. Ecol.*, 13 : 287-94.

- Alami Y, Achouak W, Marol C, Heulin T (2000a) Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflower by an EPS-producing *Rhizobium sp.* isolated from sunflower roots. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66 (8) : 3393-8.
- Alami Y, Champolivier L, Merrien A, Heulin T (2000b) Rôle de *Rhizobium sp.* rhizobactérie productrice d'exopolysaccharide, dans l'agrégation du sol rhizosphérique du tournesol : conséquences sur la croissance et la résistance de la plante à la contrainte hydrique. *Oléag Corps gras et Lipides*, 6 : 524-8.
- Alami Y, Heulin T, Milas M, de Baynast R, Heyraud A, Villain A (1998) Polysaccharide, microorganism and method for obtaining same, composition containing it and application. *Brevet CNRS-ARD N° 97-1624 970212*.
- Amellal N, Burtin G, Bartoli F, Heulin T (1998) Colonization of wheat rhizosphere by EPS-producing *Pantoea agglomerans* and its effect on soil aggregation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64 (10) : 3740-7.
- Amellal N, Villemin G, Burtin G, Bartoli F, Heulin T (1999) Effects of inoculation of EPS-producing *Pantoea agglomerans* on wheat rhizosphere aggregation. *Plant Soil*, 211 : 93-101.
- Ashraf M, Hasnain S, Berge O, Mahmood T (2004) Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. *Biol. Fertil. Soils*, 40 (3) : 157-62.
- Bezzate S, Aymerich S, Chambert R, Czarnes S, Berge O, Heulin T (2000) Disruption of the *Paenibacillus polymyxa* levansucrase gene impairs its ability to aggregate soil in the wheat rhizosphere. *Environ. Microbiol.*, 2 (3) : 333-42.
- Blanchart E, Achouak W, Albrecht A, Barakat M, Bellier G, Cabidoche YM, Hartmann C, Heulin T, Larré-Larrouy C, Laurent JY, Mahieu M, Thomas F, Villemin G, Watteau F (2000) Déterminants biologiques de l'agrégation dans les vertisols des Petites Antilles. Conséquences sur l'érodibilité. *Étude et Gestion des Sols*, 7 (4) : 309-28.
- Cabidoche YM, Guillaume P, Hartmann C, Ruy S, Blanchart E, Albrecht A, Mahieu M, Achouak W, Heulin T, Villemin G, Watteau F, Bellier G (2000) Déterminants biologiques du système poral des vertisols cultivés des Petites Antilles. Conséquences sur la disponibilité de l'eau des sols pour les plantes. *Étude et Gestion des Sols*, 7 (4) : 329-52.
- Chenu C. (1995) Extracellular polysaccharides: an interface between micro-organisms and soil constituents. *In* : Environmental Impact of Soil Components Interactions. Huang PM, Berthelin J, Bollag JM, McGill WB, Page AL (eds). Boca Raton.
- Gouzou L, Burtin G, Philipp Y, Bartoli F, Heulin T (1993) Effect of inoculation with *Bacillus polymyxa* on soil aggregation in the wheat rhizosphere: preliminary examination. *Geoderma*, 56 : 479-91.
- Hebbar KP, Gueniot B, Heyraud A, Colin-Morel P, Heulin T, Balandreau J, Rinaudo M (1992) Characterization of exopolysaccharides produced by rhizobacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 38 : 248-53.
- Henao LJ, Mazeau K (2009) Molecular modelling studies of clay-exopolysaccharide complexes : soil aggregation and water retention phenomena. *Mat. Sci. Engin.*, C 29 : 2326-32.
- Kaci Y, Heyraud A, Barakat M, Heulin T (2005) Isolation and identification of EPS-producing *Rhizobium* strain from arid soil (Algeria): characterization of its EPS and effect of inoculation on wheat rhizosphere soil structure. *Res. Microbiol.*, 156 : 522-31.
- Kuzyakov Y, Domanski G (2000) Carbon inputs by plants into soil. Review. *J. Plant Nut. Soil Sci.*, 163 (4) : 421-31.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

Sandhya V, Z ASK, Grover M,  
Redy G, Venkateswarlu B

(2009) Alleviation of drought stress effects  
on sunflower seedlings by the exopolysaccharides  
producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45.  
*Biol. Fertil. Soils*, 46 (1) : 17-26.

Sutherland IW

(2001) Microbial polysaccharides  
from Gram-negative bacteria.  
*Int. Dairy J.*, 11 (9) : 663-74.

Vanhaverbeke C, Heyraud A,  
Achouak W, Heulin T

(2001) Structural analysis  
of the exopolysaccharide from  
*Burkholderia caribensis* strain MWAP71.  
*Carbohydr. Res.*, 334 (2) : 127-33.

Woomer PL, Toure A, Sall M

(2004) Carbon stocks in Senegal's  
Sahel transition zone.  
*J. Arid Environ.*, 59 (3) : 499-510.

# Annexe

*Sampling of Rhizosphere Soil  
and Collection of Rhizosphere Soil Solution  
Editor: Axel Göttlein.*

<b>ID</b>	<b>I3_Berge</b>
<b>Author</b>	Berge, O.; Brandelet, G.; Heulin, T. CEA/Cadarache, DSV-DEVM-LEMIR laboratoire d'Écologie Microbienne de la Rhizosphère, UMR 6191 CNRS-CEA Univ. Méditerranée, F-13108 Saint-Paul-Lez-Durance, France. oberge@cea.fr; ++33 442 257 863
<b>Parameter</b>	<b>Ratio of root-adhering soil (RAS) to root tissue (RT) dry masses (RAS/RT ratio), i.e. rhizosphere soil aggregation</b>
<b>Soil type</b>	Any
<b>Plant species</b>	Any
<b>System</b>	Microcosm or field soil
<b>Method</b>	<b>Shaking and washing of root systems</b>
<b>Method description</b>	<p><i>Rationale</i> It is postulated that root adhering soil is better for plant nutrient uptake and soil stability. This method to quantify root adhering-soil is especially relevant when used to compare between at least two treatments, for example inoculated vs. non-inoculated plants with an exopolysaccharide-producing bacteria.</p> <p><i>Plant growth</i> For pot experiments, soil is sieved (&lt; 2 or 4 mm) and its moisture adjusts to approximately 80 % of water-holding capacity before sowing. The soil water content of each pot is adjusted daily with water during plant growth.</p> <p><i>Determination of RAS and RT</i> Plant watering is stopped 24 h before harvesting to facilitate the separation of RAS from bulk soil. Roots with adhering soil are carefully separated from bulk soil by hand gentle agitation or by mechanical shaking (Agitest, Stuart scientific during 1 min). RAS is removed from RT by washing them in water. RAS and RT dry masses are measured after 48 h at 60°C and RAS/RT ratio calculated.</p>
<b>Do's, don'ts, potential limitations, untested possibilities</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The RAS/RT ratio depends on the experimental conditions and variables, because it depends on many factors, mainly plant type and growth stage, soil type and moisture content, photosynthesis and harvest conditions. These factors have to be well controlled and preliminary experiments must be conducted to determine the optimal conditions to measure the ratios with the lowest variability and estimate the necessary number of replicates (usually between 10 and 30 plants).</li> <li>• RAS as well as physical and microbial properties could be measured together with quantification by adapted methods.</li> </ul>

**ID** **I3\_Berge**

**References**

*First description of the method:*

Gouzou, S.; Burtin, G.; Philippy, R.; Bartoli, F.; Heulin, T. 1993. Effect of inoculation with bacillus polymyxa on soil aggregation in the wheat rhizosphere : preliminary examination. *Geoderma* 56 : 479-490.

*Comparison of bacterial strain and its non-producing mutant:*

Bezzate, S.; Aymerich, S.; Chambert, R.; Czarnes, S.; Berge, O.; Heulin, T. 2000. Disruption of the Paenibacillus polymyxa levansucrase gene impairs ability to aggregate soil in the wheat rhizosphere. *Environ. Microbiol.* 2(3) : 333-342.

*Link between rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion:*

Alami, Y.; Achouak, W.; Marol, C.; Heulin, T. 2000.

Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflowers by an exopolysaccharide-producing Rhizobium sp. Strain isolated from sunflower roots. *Appl. Environ. Microbiol.* 66 (8) : 3393-3398.

**Additional information**

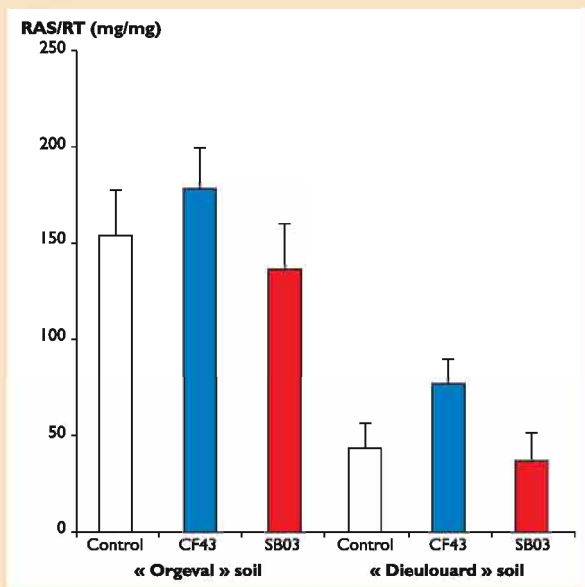


Figure 1.

*Effect of wheat inoculation with P. polymyxa strains.*

CF43 is wild type levan producer (EPS +) and SB03 its mutant whose sacB gene encoding levansucrase is disrupted (EPS -).

Levan is a fructosyl polymer. Pot experiment was carried out with two french cultivated soils: Orgeval soil, 6% sand, 76% silt, 15% clay, pH 6.6 and Dieulouard soil, 36% sand, 48% silt, 12% clay, pH 5.6.

Before utilisation, soil samples were airdried, sieved to 4 mm, and sterilized by gamma radiation.

RAS/RT ratios are represented by bars derived from the means of n = 14 to 24 replicates depending on treatments. Error bars show confidence intervals (P = 0.05). (from Bezzate et al. 2000; with permission of Blackwell Publishing)

# Inoculation des plantes cultivées avec des micro-organismes symbiotiques : du transfert de technologie à la construction d'un partenariat multi-acteurs

MARC NEYRA (IRSTEA)

HAMET ALY SOW (ASPRODEB)

MARIUS DIA (CNCR)

IBRAHIMA NDOYE, ABOUBACRY KANE ET DIÉGANE DIOUF (UCAD)

INAMOUD YATTARA (UNIVERSITÉ DE BAMAKO)

FRÉDÉRIQUE JANKOWSKI ET JOËLLE LE MAREC (ENS-LYON)

ANTOINE LE QUÉRÉ ET TANIA WADE (IRD)

## Présentation du contexte

Les systèmes écologiques des zones africaines sont soumis depuis des décennies à d'importantes perturbations climatiques (effets de la sécheresse et des fortes températures) et anthropiques (surexploitation des terres, modification des pratiques culturales). Ainsi, on assiste généralement à un accroissement de l'aridité d'origine édaphique et à une modification du couvert végétal et des paysages, qui affectent la productivité des systèmes de production et les conditions de vie des populations.

L'activité agricole de la région ouest-africaine est caractérisée par une production fluctuante, souvent limitée par l'effet combiné de différents facteurs (insuffisance et irrégularité des pluies, pauvreté des sols et faibles niveaux d'intrants, salinisation des sols, parasitisme...). La fragilisation de la production végétale est l'une des conséquences prévisibles les plus dramatiques du changement climatique en Afrique de l'Ouest.

Quoique invisibles à l'œil nu, les micro-organismes, et plus particulièrement les bactéries du sol, représentent une composante essentielle de la vie sur Terre. Les très nombreuses fonctions réalisées par ces organismes leur confèrent un rôle capital dans le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques (cycles du C, N, P etc.),



libérant les éléments nutritifs nécessaires aux plantes, formant l'humus et maintenant les propriétés physiques et chimiques des sols, les situant à la base même de la vie sur Terre. De leurs activités dépendent donc directement la qualité et la productivité du sol, support de la croissance végétale. L'effet des changements climatiques ou anthropiques sur la composante bactérienne est cependant très peu étudié du point de vue fonctionnel (conservation ou adaptation des nouvelles activités), populationnel (changements de la proportion de certains taxons ou conservation de la diversité) et réactionnel (affectation ou résilience).

Différentes pratiques culturales sont envisageables pour accroître la productivité et améliorer la production agricole et forestière, parmi lesquelles la technique d'inoculation avec des micro-organismes symbiotiques sélectionnés, en particulier :

- les rhizobiums

Ce sont des bactéries s'associant aux plantes de la famille des légumineuses en une symbiose qui se traduit par la formation d'organes particuliers au niveau des racines (parfois sur les tiges), appelés nodosités, au sein desquelles la bactérie fixe l'azote atmosphérique gazeux en une forme assimilable par la plante.

Cette symbiose aide les plantes à améliorer l'alimentation azotée surtout dans les sols des régions arides et semi-arides, et favorise la résistance aux conditions de stress. Depuis une quinzaine d'années, le développement de la biologie moléculaire a permis la description de nouvelles espèces de rhizobiums associées aux légumineuses herbacées et arbustives, spontanées et cultivées de la zone sahélienne (Ba *et al.*, 2002 ; Sylla *et al.*, 2002). L'étude de l'impact de facteurs environnementaux sur les symbioses a pu être abordée de façon plus approfondie, sur des modèles importants en agriculture et en foresterie (Krasova-Wade *et al.*, 2003 ; Diouf *et al.*, 2007 ; Diouf *et al.*, 2008 ; Fall *et al.*, 2008 ; Fall *et al.*, 2009) en particulier, le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et ses rhizobiums associés (bradyrhizobiums). C'est une légumineuse alimentaire importante dans les systèmes de cultures à base de céréales-légumineuses du Sahel (Padulosi et Ng, 1997). Les rendements observés sont de l'ordre de 300 kg à l'hectare au niveau mondial et de 50 à 550 kg à l'hectare en Afrique (Cissé et Hall, 1996) La faiblesse des rendements est due à la pauvreté des sols, en particulier en azote, et aux contraintes environnementales et au premier rang, la sécheresse. Le niébé est particulièrement adapté dans les régions à faibles pluviométries. Cependant, au Sénégal la sécheresse constitue la cause principale de l'instabilité de ses rendements et de sa faible production, car plus de 90 % des superficies cultivées en niébé sont concentrées dans le Nord et le Centre-Nord, régions les plus sèches du pays (fig. 1). Environ 93 % des superficies cultivées en niébé sont concentrées dans la région de Louga (48 %), Diourbel (25 %) et Thiès (20 %).

Ces contraintes entraînent des risques concomitants et persistants d'érosion du rendement. Depuis le milieu des années 1970, la région principale de culture du niébé est touchée par une baisse importante de la pluviométrie, marquée par des précipitations annuelles extrêmement variables en fréquence et en volume, passant en moyenne de 500-600 mm annuels avant 1970 à 300-400 mm dans les années 1980-2000 (fig. 2).

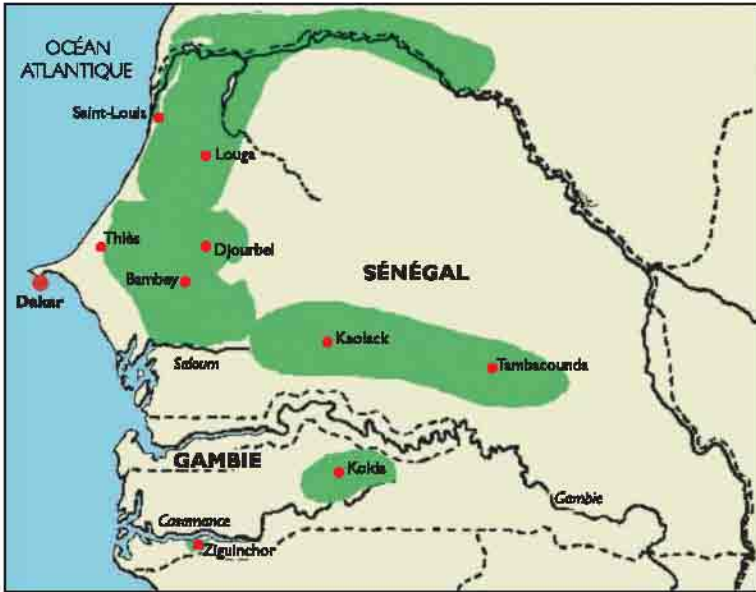


Figure 1.  
Zones principales de la culture du niébé (*Vigna unguiculata*) au Sénégal.  
(D'après Sene et al., 1971, modifié par Classe, comm. pers.).

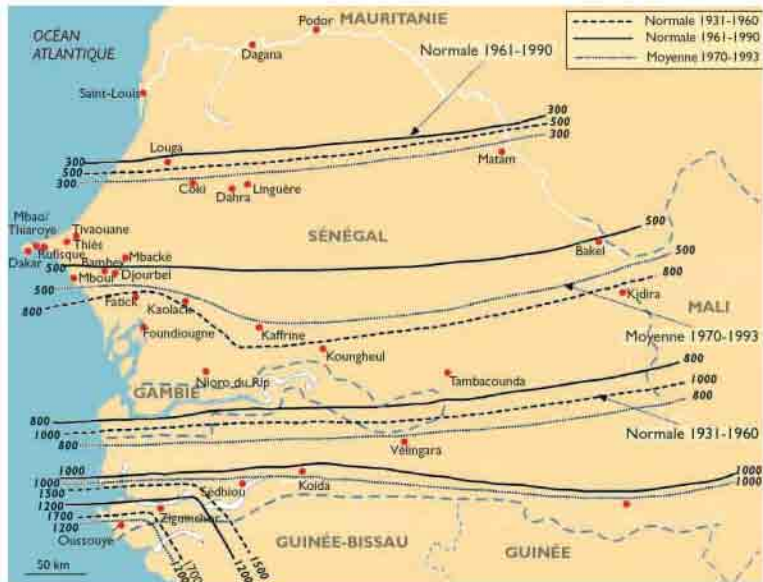


Figure 2.  
Transition des isohyètes de 1931 à 1993 (Ndong, 1995).

Par contre, peu d'informations existent sur la diversité des rhizobiums du niébé et leur comportement vis-à-vis de ces changements. Ils représentent l'une des populations de bactéries parmi les plus intéressantes à considérer en regard de la vulnérabilité des sols. Des travaux récents (effectués entre 1999 et 2005) ont montré une grande diversité de bradyrhizobiums au Sénégal avec des résultats préliminaires indiquant une corrélation entre les conditions hydriques et la répartition géographique de ces bactéries (Krasova-Wade *et al.*, soumis pour publication) (fig. 3). D'un point de vue appliqué, ces informations permettront d'apporter des critères concrets pour l'orientation des démarches de sélection de souches commercialisables en vue de l'inoculation de cette légumineuse en zones arides tropicales.

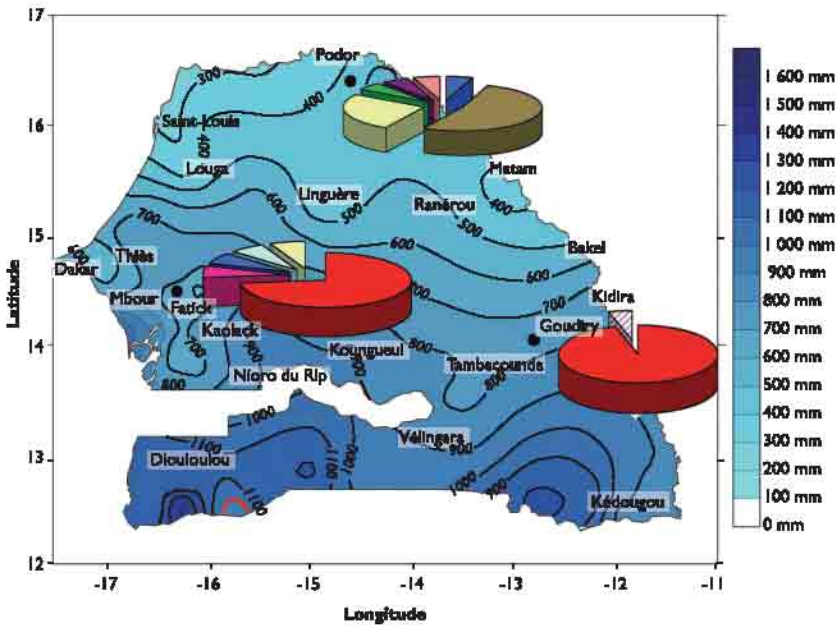


Figure 3.  
Pluviométrie moyenne annuelle (source CSE)  
et distribution des groupes génétiques sur trois sites en 2005.  
En rouge, type I, en marron, type VI; cercles noirs : position des sites d'étude.

• les champignons mycorhizogènes

En colonisant le système racinaire, ils forment avec la quasi-totalité des végétaux une symbiose appelée mycorhize. En explorant un plus grand volume de sol, par l'intermédiaire des filaments mycéliens du champignon, la mycorhize permet à la plante une meilleure absorption d'eau et de différents éléments nutritifs, parmi lesquels le phosphore.

Ces micro-organismes symbiotiques aident les plantes à s'approvisionner en éléments nutritifs très souvent limitants dans les sols des régions arides et semi-arides, et

favorisent la résistance aux conditions de stress (déficit pluviométrique, salinité, attaque par des parasites, notamment). Elles existent naturellement, mais leur fonctionnement n'est pas toujours optimal, notamment en zone aride à cause d'un nombre insuffisant ou d'une mauvaise efficacité des micro-organismes symbiotiques présents dans le sol.

Il est possible de dépasser ces insuffisances en apportant à la plante une quantité importante de micro-organismes sélectionnés. Cette technique, appelée inoculation, est connue pour les rhizobiums depuis plus d'un siècle, et il a été montré qu'elle permet fréquemment l'amélioration à faible coût de la croissance végétale au champ. L'application d'inoculum s'effectue le plus souvent au moment du semis, par enrobage des graines ou apport sous forme liquide ou mélangé à un support. L'inoculation peut être bénéfique à de nombreux types de cultures, aussi bien annuelles que pérennes, et est maintenant utilisée en routine dans de nombreux pays (en France, par exemple, 50 % des cultures de soja et de lupin et 10 % des cultures de luzerne sont inoculées ; au Canada, 10 compagnies proposent 96 produits différents).

En améliorant la physiologie de la plante, notamment en condition de stress hydrique et nutritif, la technique d'inoculation représente une forte opportunité en zones sèches pour augmenter la production agricole et forestière, tout en améliorant la fertilité des sols par une pratique non polluante. Du fait de son faible coût et de sa relative facilité d'emploi, elle est bien adaptée à l'agriculture familiale, notamment vivrière, et peut permettre de limiter l'importation d'intrants agricoles, coûteuse en devises et en énergie. Globalement, elle s'inscrit donc parfaitement dans une perspective de développement durable, tout en répondant au souhait du Roppa (Réseau des organisations paysannes et de producteurs de l'Afrique de l'Ouest) de « promouvoir l'amélioration des conditions d'exercice des activités des familles rurales, socle des sociétés agraires dans les pays africains ». Pourtant, l'inoculation n'est pas pratiquée en zone sahélienne. Cette absence de pratique est en grande partie due à un manque de promotion et de diffusion auprès des utilisateurs potentiels.

## Stratégie de l'intervention : levier retenu pour une transition vers un agroécosystème durable

Les tentatives antérieures de diffusion de l'inoculation en Afrique de l'Ouest s'étaient appuyées sur des démarches individuelles de chercheurs travaillant en lien avec des cultivateurs ou de petits groupes d'utilisateurs potentiels. Aucun de ces acteurs individuels n'avait de fait, moyens et vocation pour développer une communication de masse. La montée en puissance des organisations paysannes (OP), manifestée par la création du Roppa en juillet 2000 allait permettre une nouvelle approche, s'appuyant à la fois sur des actions de terrain très concrètes et sur une volonté de mise en réseaux.

## Appropriation de la technologie par les organisations de producteurs (2004-2008)

Depuis le début des années 2000, une action concertée entre le LCM (Laboratoire commun de microbiologie IRD/Isra/Ucad du centre de recherche de Bel-Air à Dakar) et la Direction des eaux et forêts du Sénégal, avait permis l'adhésion des forestiers à cette pratique en organisant des ateliers de formation et en mettant en place des plantations d'essais et de démonstration dans les onze régions du Sénégal. S'appuyant sur cette approche structurée, une démarche de partenariat a été initiée en 2004 avec les CLCOP (Cadres locaux de concertation des organisations de producteurs) de la région de Louga (nord du Sénégal). Ce partenariat a débuté à Dakar avec la participation des présidents des CLCOP au 11<sup>e</sup> congrès de l'Association africaine pour la fixation biologique de l'azote, matérialisée par une communication orale des producteurs sur leur approche d'un transfert de technologie. Ont suivi l'organisation d'ateliers techniques au LCM, une présence commune lors de la septième Fiara (Foire internationale de l'agriculture et des ressources animales) à Dakar en 2005, et la mise en place durant l'hivernage 2005 d'essais pilotes d'inoculation de spéculations répondant à des demandes fortes des producteurs (niébé, parmi les principales espèces vivrières cultivées en Afrique de l'Ouest, et *Acacia mellifera*, espèce arbustive très demandée pour la plantation de haies vives).

C'est dans cette démarche de partenariat que le ministère français des Affaires étrangères et européennes (MAEE), a financé de 2005 à 2008 le projet « Appropriation par les organisations de producteurs d'Afrique de l'Ouest de la technologie d'inoculation avec des micro-organismes améliorant la production végétale », dans le cadre du programme Duras (« Promotion du développement durable dans les systèmes de recherche agricole du Sud »). Initié avec pour objectif principal de mettre en relation chercheurs et paysans pour le test et la diffusion de l'inoculation dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Burkina Faso, Mali, Niger et Sénégal), ce projet a associé des équipes de microbiologistes présents dans chacun des pays et les plates-formes nationales en partenariat avec le Roppa.

Tout en confirmant l'impact positif de l'inoculation sur la production de différentes spéculations (notamment le niébé), le projet « Duras Inoculation » a permis de mettre en avant que, pour renforcer la participation de la société civile, et notamment des organisations paysannes, dans la mise au point et l'application d'innovations en agriculture, il était important :

- de créer des liens directs entre chercheurs et paysans ;
- de poser les bases du partenariat avec des organisations représentatives, et pas uniquement avec des individus ;
- de répartir la responsabilité de gestion (financière et technique) entre les organisations de producteurs et les laboratoires ;
- de faire accepter par les chercheurs la perte d'une partie de leur « pouvoir » ;

- de sensibiliser les paysans aux questionnements de la recherche, pas seulement aux résultats ;
- de s'appuyer sur l'effet d'entraînement provoqué par la réussite de certains groupes ;
- d'envisager la collaboration dans la durée

## Intégration de questions de recherche pluridisciplinaires

Il est apparu rapidement qu'il n'était pas possible d'analyser uniquement l'impact de l'inoculation sur la production de graines et/ou de fourrage, mais qu'il était indispensable de prendre en considération et d'étudier l'ensemble du contexte biologique, agronomique, environnemental et sociologique dans lequel on souhaitait développer cette technologie, et l'impact rétroactif de celle-ci. Les tests effectués spontanément par les femmes de producteurs partenaires au Mali pour comparer la qualité gustative des graines inoculées et non inoculées incitaient par exemple à analyser leurs qualités organoleptiques. De nouveaux financements ont ainsi permis d'élargir les bases de l'action :

- Projet Ripimsa sur l'intégration des micro-organismes dans les systèmes agricoles au Mali, Sénégal et Niger dans le contexte du changement climatique, intégrant des spécialistes des observatoires de l'environnement (2008-2010, programme FSP Ripiecsa du MAEE, coordination Université de Bamako).
- Projet MycoVigna sur la diversité des champignons mycorhizogènes associés au niébé au Bénin, Burkina Faso et Sénégal (2008-2010, programme FSP Corus du MAEE, coordination Université de Dakar).
- Projet « Introduction d'essences exotiques en milieu aride : conséquences sur la conservation des ressources microbiennes et végétales endémiques du Sahel » (2008-2010, programme Aires-Sud du MAEE, coordination Université de Dakar).
- Projet SolAO sur la vulnérabilité des sols sahéliens (2009-2012, programme ANR VMCS, coordination IRD) (fig. 4).

Tous ces projets ont été portés, à différents niveaux d'implication, par les chercheurs et les organisations de producteurs partenaires du projet Duras Inoculation. Au-delà de leurs objectifs spécifiques, ils ont permis de renforcer le partenariat initié par le projet, et une démarche pluridisciplinaire et multipartenaire plus large s'est alors progressivement mise en place, intégrant en particulier au Sénégal les conseillers agricoles de l'Ancar (Agence nationale de conseil agricole) et des chercheurs spécialistes d'autres domaines (physico-chimistes, sociologues, physiologistes, entomologistes, généticiens, nutritionnistes...).



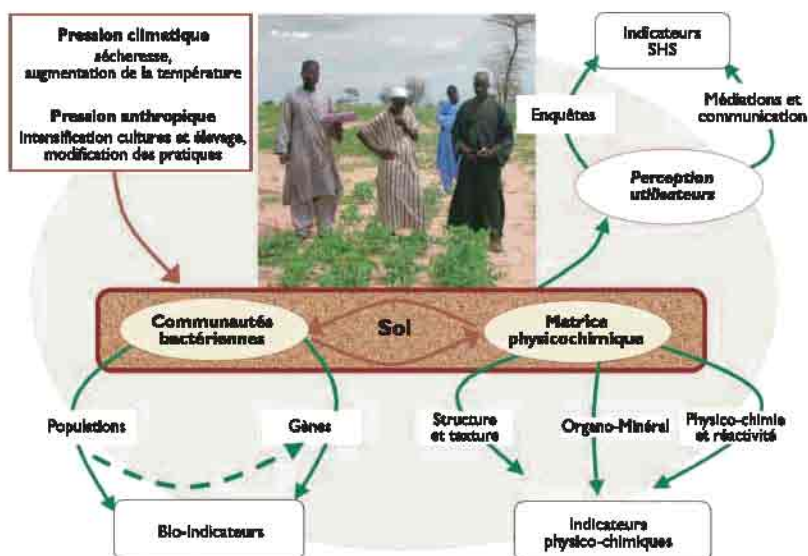


Figure 4.  
Représentation schématique de l'étude interdisciplinaire sur la vulnérabilité des sols  
(source Neyra, projet ANR/VMCS/SolA).

## Mise en place de « Sites de recherche et de démonstration » et d'ateliers annuels de restitution et de planification

L'inoculation est alors apparue comme un excellent fil rouge pour la création de Sites de recherche et de démonstration (SRD) cogérés par des membres d'organisations locales de producteurs, des chercheurs, des conseillers agricoles et des professeurs de science et vie et de la terre, avec un triple objectif :

- mener des recherches en milieu paysan ;
- assurer la diffusion de nouvelles technologies ;
- créer des sites privilégiés d'échanges et de partage de questionnements entre chercheurs, producteurs, conseillers agricoles et enseignants.

En parallèle et pour soutenir les SRD, ont été programmés au Sénégal, des ateliers annuels de restitution et de planification, avec pour objectif non seulement de faire des bilans des actions menées et planifier les suivantes, mais aussi de partager pour construire ensemble de nouvelles façons de travailler.

## Transfert de la technique d'inoculation

L'impact positif de l'inoculation du niébé, pourtant réputé non réceptif, a été vérifié dans différentes localités au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal, avec par exemple des gains de poids de gousses sèches pouvant atteindre 35 %, ou une meilleure reprise après un stress (attaque parasitaire, stress hydrique). Malgré l'intérêt indéniable suscité par ces résultats, et une demande croissante au-delà des communautés rurales partenaires, l'usage de la technique ne s'est cependant pas encore développé. Il est nécessaire maintenant d'amplifier la diffusion au niveau national et régional et surtout d'assurer la mise à disposition d'inoculum performants et contrôlés, dont le manque est l'un des freins majeurs à la diffusion. Des expérimentations sont planifiées pour la production délocalisée de champignons mycorhizogènes, réalisables dans des conditions relativement simples au niveau d'OP locales, sous réserve de la mise en place d'un service de fourniture d'inoculum « starter » et d'un système de contrôle de qualité.

## Construction d'un partenariat multi-acteurs

Les bases de Sites de recherche et de démonstration ont été posées dans quatre communautés rurales du Sénégal (Dya, Darou Mousty, Ouarkhokh et Guédé). Les expériences menées sur ces SRD ont permis de progresser dans la connaissance de la diversité et de l'écologie des micro-organismes symbiotiques, et plus largement de l'environnement des zones sèches. Ainsi, la typologie des sols faite en partenariat entre chercheurs et producteurs du Sénégal a pu être comparée à l'analyse de la diversité des micro-organismes symbiotiques associés au niébé et plus largement, de l'ensemble des micro-organismes du sol (approche « métagénomique »). À partir de ces expériences successives les règles de fonctionnement des SRD sont progressivement élaborées, tant du point de vue technique (dimensionnement, protection, suivi...) que des droits, devoirs et responsabilités de chaque partenaire. Une réflexion est en cours pour la rédaction d'une charte de partenariat. Deux ateliers de restitution et de planification se sont tenus au Sénégal dans deux communautés rurales partenaires (Dya en 2010 et Darou Mousty en 2011) rassemblant chacune plusieurs dizaines de participants, représentant les différents partenaires intervenant dans l'ensemble du pays et permettant également d'affiner le mode de fonctionnement du partenariat. Une démarche très proche est en cours au Mali, et, un peu moins avancée, au Bénin. La proposition de création d'un réseau multipartenarial et pluridisciplinaire intitulé InocAO a été faite pour rassembler l'ensemble des laboratoires, organisations et réseaux de producteurs agricoles et structures de conseil agricole intéressés par cette démarche en Afrique de l'Ouest.



## Impacts des interventions dans les différentes dimensions de la durabilité

L'impact de l'inoculation sur les systèmes de production n'est pas encore sensible. On peut anticiper cependant qu'il pourra être non négligeable dans les années à venir. Il devrait alors permettre de réduire de façon sensible les variations de rendement d'un certain nombre de spéculations soumis à des stress, en particulier en conditions de culture pluviale, de réduire les intrants (engrais, pesticides), et de participer à la régénération et l'enrichissement des sols ainsi qu'à la protection des ressources naturelles (réduction notamment de la pollution des nappes phréatiques).

La stratégie de partenariat avec les organisations paysannes locales et nationales privilégie l'agriculture familiale vivrière et devrait donc avoir à terme un impact sur les conditions d'existence des ménages.

La simplicité de la technique et l'impact positif souvent spectaculaire sur la croissance des plantes en font un exemple de choix pour des actions de sensibilisation et de découverte scientifique, notamment en milieu scolaire.

La création des SRD s'inscrit parfaitement dans les recommandations du colloque international « Partenariats-Innovation-Agriculture » tenu à Paris en juin 2008, dont l'une des conclusions était de proposer « des lieux de convergence entre tous les acteurs », où seraient construits des outils communs facilitant les circuits d'information, le travail amont sur les règles de propriété intellectuelle et de gestion, et qui seraient également « des réseaux d'échange régionaux, des plates-formes de communication et de regroupement des acteurs d'un même secteur, permettant de définir des objectifs communs, favorisant à la fois la mutualisation et la spécialisation autour d'outils et collectifs, et incluant des étapes d'évaluation de l'efficacité de ces actions, des « incubateurs » d'innovations, où seront discutés en amont les différents impacts des recherches et identifié les chemins de l'innovation ».

Ainsi la volonté de développer une réflexion partagée entre chercheurs, utilisateurs et conseillers agricoles pour la définition de textes réglementaires régissant la distribution et l'application des inoculums, et pour la création de structures d'approvisionnement et de contrôle de qualité devrait donner plus de poids aux solutions techniques qui seront retenues.

La participation des OP en tant que partenaires de l'ensemble de ces actions renforce leurs capacités et leur visibilité au niveau national et international. Suite au travail mené en commun, les plates-formes paysannes nationales ont ainsi été invitées à être membres des comités nationaux. De même, le réseau InocAO (et donc les OP partenaires) a souhaité être associé à la mise en place du programme SREC (Sociétés rurales, environnement et climat) évoqué par ailleurs dans cet ouvrage. Pour les chercheurs, outre le fait de contribuer au développement durable, la démarche engagée leur permet de développer une vision plus critique des recherches qu'ils conduisent.

Au-delà d'un « simple » transfert de technologie, l'inoculation apparaît donc comme une clé pour créer de nouveaux types de relations entre chercheurs et utilisateurs et, par la mise en place de partenariats de confiance et plus directs, participer au sein de la société à l'instauration d'espaces de dialogue partagé plus efficaces sur les questionnements de la recherche.

## Limites de l'expérience

### Transfert de la technique d'inoculation

Développer à grande échelle l'usage de la technique nécessite dès à présent la mise à disposition d'inoculum sélectionnés de qualité, pour répondre à la demande qui se dessine. Diverses possibilités sont envisagées : mise en place d'unités locales de production (possibilité de « jeunes pousses » faisant appel à des diplômés des universités partenaires), intervention de sociétés internationales spécialisées. Dans l'attente de ces choix techniques à réaliser, le coût d'application de l'inoculation reste à calculer, mais les premières estimations et l'analyse des coûts dans les pays où elle est appliquée permettent de prévoir qu'il sera largement compétitif par rapport au coût d'autres pratiques culturales.

La diffusion de la technique d'inoculation nécessitera également d'accroître et d'affiner les connaissances sur l'écologie des micro-organismes symbiotiques en zones sèches (informations importantes pour la sélection des souches microbiennes utilisables comme inoculum en fonction des conditions environnementales locales) et sur l'impact global potentiel de leur insertion dans les dispositifs de culture. Les études en cours (par exemple sur les relations diversité microbienne/caractéristiques physicochimiques/typologie paysanne des sols de culture, ou l'analyse génomique et transcriptomique des gènes d'adaptation à la sécheresse chez les rhizobiums associés au niébé) permettent d'avancer dans cette voie.

Enfin, quelles que soient les solutions retenues pour la production des inoculum, il est indispensable de définir, de façon concertée entre chercheurs et utilisateurs, des normes strictes pour régir leur distribution, à l'image des pratiques développées dans le reste du monde et en prenant en compte les spécificités ouest-africaines.

### Construction d'un partenariat multi-acteurs

La bonne marche d'un partenariat entre acteurs aussi différents, dans des contextes variés, et mettant en avant le partage des questionnements de recherche comme préalable pour la diffusion des résultats de ces recherches, demande que soient bien définis les rôles respectifs. La poursuite de la réflexion pour l'élaboration d'une charte de partenariat est donc indispensable, particulièrement dans l'optique d'une structuration en réseau régional, étape indispensable pour donner au processus toute son ampleur.

La durabilité d'un tel partenariat entre chercheurs et producteurs dépend également du maintien d'un équilibre fragile entre la nécessité de contacts directs – porteurs de confiance réciproque – et d'une implication institutionnelle, nécessaire à la durabilité. La structuration des organisations de producteurs est pyramidale mais non hiérarchisée, et il n'existe pas de lien de dépendance directe entre les OP à la base et les plates-formes nationales (ce qui participe sans doute au dynamisme actuel du mouvement paysan en Afrique). Il est donc particulièrement important que les chercheurs apprennent à connaître cette structuration (qui, de plus, est variable selon les pays), d'autant plus qu'elle a pour conséquence une différence sensible dans le mode d'intervention : les OP locales sont plus impliquées dans la cogestion des SRD, alors que les actions de diffusion et de visibilité internationale sont plutôt du ressort des plates-formes nationales et du Roppa. L'articulation entre les différentes échelles d'action et la prise en compte de la dimension multi-niveaux de la gouvernance apparaissent donc cruciales.

## Conclusion

Les bactéries symbiotiques du groupe de bradyrhizobiums natifs des sols de l'Afrique de l'Ouest représentent de bons modèles, à la fois pour comprendre les mécanismes adaptatifs à la sécheresse et pour cerner de façon plus fine le comportement de populations ciblées en réponse aux modifications des conditions environnementales. Ces changements ne peuvent être élucidés qu'avec une implication des savoirs et expertises locaux et une ouverture vers d'autres disciplines scientifiques.

Le LCM a initié à partir de 2005 le développement d'un partenariat entre laboratoires de recherche, organisations paysannes et structures de conseil agricole pour la diffusion et la sensibilisation sur l'importance et l'utilité des bactéries symbiotiques. D'une manière générale, ces actions ont permis de créer des liens directs et de confiance entre chercheurs et paysans, de penser les partenariats avec des organisations représentatives et pas seulement avec des individus, de sensibiliser les paysans aux questionnements de la recherche et pas uniquement aux résultats, et d'envisager la collaboration dans la durée (Sow et Neyra, 2008). Ce dialogue franc entre la recherche et les acteurs locaux donne actuellement l'ouverture à d'autres disciplines et permet d'aborder les travaux de recherche à travers les regards croisés de microbiologistes, climatologues, physico-chimistes du sol, sociologues, afin d'élaborer et valider des indicateurs dynamiques qui permettront d'observer et d'anticiper le comportement du sol pour une amélioration de la productivité agricole dans le respect de l'environnement et d'une agriculture durable.

D'autre part, les questions concernant le réchauffement climatique prennent généralement peu en considération une autre échelle : celle de la microbiologie. Or, les très nombreuses fonctions réalisées par les micro-organismes du sol leur confèrent un rôle capital dans le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques. De leurs

activités dépendent donc directement la qualité et la productivité du sol, support de la croissance végétale. L'effet des changements climatiques ou anthropiques sur la composante bactérienne est cependant très peu étudié.

Très souvent, un lien direct est énoncé entre le taux de précipitation et le rendement agricole. La diminution de la pluviométrie accompagnant le réchauffement climatique, engendrerait une diminution du rendement agricole avec des conséquences dramatiques sur la sécurité alimentaire. Or, il est essentiel de considérer la proportion des types de sols existant dans chacune des zones pour réellement définir la vulnérabilité des terres aux fluctuations de précipitations. Cela semble important, notamment, dans le cadre de la définition d'indicateurs microbiologiques potentiels de la qualité des sols agraires.

## Références

- Ba, S., A. Willems, P. de Lajudie, P. Roche, H. Jeder, P. Quatrini, M. Neyra, J. C. Promé, M. Gillis, C. Boivin-Masson, and J. Lorquin  
2002. Symbiotic and taxonomic diversity of rhizobia isolated from *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* in Africa. *System. Appl. Microbiol.* 25 : 130-145.
- Borcard, D., et A. Buttler  
2001. Ecologie numérique. 250 p. Université de Montréal et Université de Franche-Comté.
- Cissé, N., S. Thiaw, M. Ndiaye, et A. E. Hall  
1996. Guide de production de niébé. Fiches techniques, ISRA, 6 (2) : 1-12.
- Diouf D., R. Samba-Mbaye, D. Lesueur, A.T. Ba, B. Dreyfus, P. de Lajudie, and M. Neyra  
2007. Genetic diversity of *Acacia seyal* Del. rhizobial populations indigenous to Senegalese soils in relation to salinity and pH of the sampling sites. *Microbial Ecol.* 54 : 553-566.
- Diouf D., I. Ndoye, D. Fall, A. Kane, A. T. Ba, and M. Neyra  
2008. Caractérisation phénotypique et symbiotique de souches de *Mesorhizobium* spp. nodulant *Acacia seyal* Del. *Journal des Sciences et Technologies*, 7 : 1-10.
- Fall, D., D. Diouf, M. Ourarhi, A. Faye, H. Abdelmounen, M. Neyra, S. Sylla, and M. Missbah El Idrissi  
2008. Phenotypic and genotypic characteristics of *Acacia senegal* (L.) willd root-nodulating bacteria isolated from soils in the dryland part of Senegal. *Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology*, 47 : 85-97.
- Fall, D., D. Diouf, M. Neyra, O. Diouf, and N. Diallo  
2009. Physiological and biochemical responses of *Acacias seyal* (Del.) seedlings under salt Stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 32 : 1122-1136.
- Krasova-Wade, T., I. N. N'Doye, S. Braconnier, B. Sarr, P. de Lajudie, and M. Neyra  
2003. Diversity of indigenous bradyrhizobia associated with three cowpea cultivars (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grow under limited and favorable water conditions in Senegal (West Africa). *Afr. J. Biotech.* 2 (1) : 13-22
- Krasova-Wade T. and M. Neyra  
2007. Optimization of DNA isolation from legume nodules. *Letters in Applied Microbiology*, 45 : 95-99.

Ndong J.-B

1995. L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement / The evolution of rainfall in Senegal and the consequences of the recent drought on the environment.

*In* : Revue de géographie de Lyon.

Vol. 70 n° 3- 4. Sahel, la grande secheresse. pp. 193-198.

Padulosi, S. and N. Q. Ng

1997. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp., p. 337-340.

*In* B. B. Singh, D. R. Mohan, K. E. Dashiell, and L. E. N. Jackai (ed.), *Advances in cowpea research*. Nigeria, Japan.

Sene, D., P. Laurent, and S. M. Ndiaye

1971. Les variétés de niébé actuellement conseillées au Sénégal. *Les cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds*, 2 : 1-18.

Sow H. A and M. Neyra

2008. Paysans et chercheurs ensemble pour l'intégration des microorganismes dans le système agricole ouest-africain. *AGRIDAPE*, 24 : 20-22

Sylla, S. N, R. T Samba,

M. Neyra, I. Ndoye, E. Giraud, A. Willems, P. de Lajudie, and B. Dreyfus

2002. Phenotypic and genotypic diversity of rhizobia nodulating *Pterocarpus erinaceus* and *P. lucens* in Senegal.

*System. Appl. Microbiol.* 25 : 572-583.

Willems, A., R. Coopman, and M. Gillis

2001. Comparison of sequence analysis of 16S-23S rDNA spacer regions, AFLP analysis and DNA-DNA hybridations in *Bradyrhizobium*.

*Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51 : 623-632.

## **Remerciements**

Les auteurs et l'ensemble du personnel du Laboratoire commun de microbiologie remercient les présidents et les producteurs représentants des organisations paysannes et les agents d'encadrement rural de l'Ancar des CLCOPs de Guédé, Ouarkhokh, Darou Mousty et Dya pour les efforts consentis, leur engagement et leur disponibilité. Ces études ont bénéficié de l'aide financière des programmes Duras-Inoculation, Corus-MycoVigna, Ripiecsa-Ripimsa, Aires Sud et ANR/VMCS SolAO. Nous sommes reconnaissants à l'ensemble de nos collègues pour leur esprit de partenariat exemplaire.

**Partie V**

**Développement  
des communautés  
locales  
et gouvernance  
des ressources  
naturelles**



# Analyse de quelques expériences de gestion locale des ressources naturelles communes au Sahel

BERNARD BONNET

Chargé de programme

+33 (0)4 99 23 24 66 - b.bonnet@iram-fr.org

Institut de Recherches et d'Applications des Méthodes de développement

[Paris]: +33 (0)1 44 08 67 67 - [Montpellier]: +33 (0)4 99 23 24 67 -

www.iram-fr.org <<http://www.iram-fr.org>>

## Enjeux de gestion durable des ressources communes sahéliennes

Des dynamiques de dégradation des ressources communes sous l'effet combiné de la pression d'exploitation croissante, de l'affaiblissement de la gestion coutumière et des insuffisances de la gestion par l'État : enrayer des pratiques d'exploitation prédatrice et minière, sans souci de reconstitution des capacités et des productions du milieu naturel, tel est l'enjeu de gestion durable des ressources communes des régions sahéliennes déjà bien mis en évidence dans des travaux de capitalisation à la fin des années 1980 (Bosc *et al.*, 1992). Dans les zones considérées par le projet de Grande Muraille Verte, cette problématique est encore plus complexe qu'ailleurs. Elle doit en effet intégrer la superposition des usages des ressources naturelles imposée par un climat aride ou semi-aride où doivent se combiner pratiques d'agriculture pluviale ou de décrue, productions des ligneux (bois, fruits, feuillage et gomme), accès aux points d'eau et au pâturage. Le cadre juridique définissant les règles d'exploitation des ressources communes, construit sur la base d'une politique de gestion étatique centralisée, a longtemps induit également une déresponsabilisation des usagers dans la gestion, accentuant de fait les pratiques de gestion non durable et non équitable des ressources naturelles.

Après cette impossible gestion par l'État qui n'a pas su enrayer cette « tragédie des communs », le réflexe est souvent de penser à la privatisation des espaces qui



permettrait une meilleure responsabilisation des usagers. Mais la multiplicité des usages rend le processus d'individualisation des terres complexe et inadapté dès qu'il s'agit de la gestion de ressources communes. Cette complexité se double d'une pression croissante sur les ressources qui induit des conflits de plus en plus fréquents entre usagers. Ce diagnostic de dégradation de la gestion des ressources communes a mobilisé différentes expériences de gestion concertée des ressources qu'il est utile de rappeler dans leur diversité, de manière à en dégager des enseignements utiles pour les intégrer pleinement aux orientations opérationnelles et concrètes du projet de GMV. Un travail récent réalisé par le ministère des Affaires étrangères et européennes vient de capitaliser un grand nombre d'expériences qui ont tenté au cours des quinze dernières années d'améliorer la durabilité des systèmes de production durables en zones sèches (Deygout *et al.*, 2012). Cette capitalisation a mobilisé de nombreux intervenants des zones sahéliennes et fourni une base intéressante qui rend compte particulièrement des enseignements à tirer dans le domaine de la gestion des ressources communes en zone sahélienne.

## Origines et trajectoires des interventions de gestion des ressources naturelles communes au Sahel

En face de cette diversité des problématiques de dégradation des ressources naturelles, c'est une diversité d'initiatives d'appui à la gestion durable des ressources naturelles qui a été développée. Depuis les années 1984, beaucoup d'expériences visant à renforcer les capacités locales de gestion des ressources naturelles ont été mises en œuvre au Sahel et ont largement inspiré les politiques nationales et internationales de lutte contre la désertification et de gestion des ressources naturelles communes (Rochette, 1989).

Sans se lancer dans une véritable typologie des approches de gestion des ressources naturelles communes au Sahel au cours des trente dernières années, nous proposons ici de passer en revue quatre grands types d'expérience illustrant les évolutions des approches d'appui à la gestion des ressources naturelles : (i) a gestion des terroirs villageois, (ii) la sécurisation foncière des ressources naturelles, (iii) la décentralisation de la gestion des ressources naturelles et (iv) le renforcement de la gestion locale des ressources communes.

## Les expériences d'appui à la gestion des terroirs

En premier lieu, ce sont les approches gestion des terroirs qui ont marqué le paysage des interventions entre la fin des années 1980 et la fin des années 1990 au Sahel. Elles se sont généralisées dans plusieurs pays comme le Burkina Faso, le Niger, le Mali et le Sénégal. Plusieurs facteurs ont ensuite conduit à leur évolution progressive. Ces approches GTV ont largement convaincu par leur capacité à impliquer les populations dans la gestion de leurs ressources naturelles, sans qu'on soit toujours en mesure d'en évaluer les impacts à court terme au plan écologique, social, économique et institutionnel. Pourtant les travaux réalisés dans le cadre de l'évaluation des impacts des actions de gestion des ressources naturelles en 2005 montrent des évolutions remarquables vers une gestion plus durable des ressources naturelles.

Ce n'est finalement qu'une vingtaine d'années après la mise en œuvre de ces interventions que les impacts environnementaux de la gestion des terroirs conduite de 1984 à 1995 au Sahel ont été observés. La régénération du couvert végétal est qualifiée par certains de « reverdissement du Sahel » (E. Botoni, C. Reij, 2011). Les travaux menés sur le terrain au Niger montrent une dynamique intéressante de changements des pratiques paysannes : intégration des ligneux dans les cultures, extension des mesures de gestion des eaux à la parcelle et fertilisation locale plus systématique. Ces observations faites dans les terroirs se combinent aux données satellitaires qui constatent également ce « reverdissement » à l'échelle d'une grande partie de la bande sahélienne (Hermann *et al.*, 2005).

Les travaux de Doka et Luxereau (2004) montrent que ces évolutions traduisent en réalité de nouveaux enjeux et notamment une évolution des droits et des usages des ressources naturelles dans les terroirs. Les réintroductions ou les protections de plantes sont tout à fait diversifiées selon les villages, c'est-à-dire selon le niveau de la ressource, l'existence de ressources de remplacement, la diffusion des savoirs et les possibilités de valorisation économique. Les champs deviennent des espaces où une grande sélection est opérée en fonction de stratégies à court ou moyen terme (par exemple, la conservation d'aliments de soudure), ainsi que de la cohabitation du mil avec des espèces économiquement intéressantes. Les ressources spontanées en accès libre dans les espaces ouverts deviennent également des enjeux commerciaux d'autant que la spécialisation des écosystèmes a entraîné la quasi-disparition localisée de certaines d'entre elles.

D'une manière générale, plusieurs cas le montrent bien, les populations ont « repris », « adopté » incontestablement des techniques que les projets ont voulu vulgariser. Elles ont fait leur choix dans l'éventail proposé, reprenant ce qui leur convenait et qui correspondait directement à leurs capacités techniques et financières. Souvent de nombreux facteurs externes ont induit des dynamiques d'appropriation plus intenses : pression démographique, retour d'exode, retour des pluies...

De telles dynamiques de transformations des paysages et des pratiques paysannes perceptibles bien longtemps après la fin des interventions, demeurent très mal

connues et peu étudiées, n'eut-ce été ce genre d'étude rétrospective résultant d'un partenariat international, scientifique et financier – le Comité inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS), l'université libre d'Amsterdam, le International Resources Group et le United States Geological Survey Center for EROS et divers bailleurs de fonds (Coopération suisse, USAID, Coopération néerlandaise et GTZ).

Toujours dans la préoccupation de valoriser les enseignements de l'expérience, on citera l'évaluation récente des expériences anciennes des marchés ruraux de bois au Niger. Ces derniers contrairement à ce que peut laisser penser une telle appellation ont été imaginés en 1988-1989 dans le cadre de l'approche gestion des terroirs. Cette expérience relatée par Gautier *et al.* (2012) s'intéresse à la gestion des forêts naturelles en zone sahélienne en mettant en perspective les expériences nigériennes et maliennes. Elle est particulièrement intéressante du fait du recul historique qu'elle permet d'intégrer. La grande différence entre les deux pays reste qu'au Niger, l'État a fait le pari de laisser aux structures locales de gestion toute latitude pour faire les prélèvements fiscaux et les a autorisées à en conserver une part significative (de 30 à 50 %) pour encourager les ruraux à s'approprier leurs espaces forestiers. Au Mali, la loi n'a pas permis cette avancée et induit une moins bonne appropriation de la gestion. La grande innovation introduite par le modèle « marchés ruraux de bois » du Niger a été de remettre les populations locales au cœur de la gouvernance des ressources de leur territoire villageois, dans une approche à la fois économique de lutte contre la pauvreté et sylvicole pour planifier et organiser l'exploitation ligneuse.

## Les expériences basées sur la sécurisation foncière

Dans le prolongement des expériences de gestion des terroirs, certaines approches ont privilégié un travail plus spécifique sur la sécurisation du foncier des ressources naturelles. La dimension environnementale n'apparaît plus spécifiquement même si l'approche de financement des initiatives de développement local soutient par ailleurs des micro-projets qui peuvent y contribuer (plantations, travaux de conservation des eaux et des sols). La gestion des ressources naturelles communes est quant à elle prise en compte par une entrée spécifiquement foncière, à travers différentes expériences visant à mettre sur pied des outils et des démarches de sécurisation des droits par leur enregistrement dans le cadre de plans fonciers ruraux (Côte d'Ivoire, Burkina Faso et Bénin).

En matière foncière face à une telle problématique de gestion durable des ressources naturelles, les défis explicités sont de trois ordres (Comité technique « Foncier et développement », 2009).

Il s'agit de sortir du dualisme entre gestion communautaire et domanialité, en permettant à l'ensemble des citoyens de voir leurs droits reconnus et protégés. C'est là un enjeu majeur pour la promotion d'un développement durable des territoires. Ce dualisme réside dans la cohabitation de deux régimes différents de gestion du foncier, d'un côté le droit positif et de l'autre le droit traditionnel :

d'un côté, des conceptions locales et légitimées d'appropriation de la terre, basées sur une gestion collective : la terre n'appartient pas à un individu, mais est l'objet de différents niveaux de droits gérés par plusieurs personnes ou groupes, qui sont indexés à la place qu'occupent le ou les ayants droit dans la collectivité ;

et de l'autre, des conceptions nationales et légales héritées de la période coloniale, fondées sur la domanialité et sur une appropriation individuelle et exclusive de la terre et de ses ressources, qui nient l'existence de droits locaux : la propriété est garantie par l'État à partir de la procédure longue et coûteuse de l'immatriculation, qui reste hors de portée de la majorité des populations.

Il s'agit aussi de réussir à sécuriser la gestion paysanne face à l'appropriation massive et inéquitable des ressources. Face aux tentations croissantes d'une exploitation produisant des bénéfices à court terme, le cadre foncier devient aussi particulièrement important dans l'actualité de ces dernières années pour sécuriser des pratiques paysannes inscrites dans la gestion à long terme du sol et des ressources qu'il porte.

Enfin, le défi est aussi de favoriser la mise en place d'instances locales décentralisées de gestion du foncier. Un autre enjeu essentiel réside également dans la nécessaire mise en place d'organes de gouvernance décentralisée, jouant le rôle de relais des cadres de politiques et associant pleinement les acteurs locaux dans le contrôle de la gestion durable et équitable du foncier dans ses différentes dimensions. De ce point de vue, la mise en œuvre des politiques de décentralisation peut constituer un atout.

### **Les expériences basées sur les plans fonciers ruraux**

Face à la pression croissante sur les ressources et au vu des insuffisances des cadres juridiques nationaux, la dimension foncière a été prise en compte depuis les années 1980 dans les différentes approches de gestion des ressources naturelles. On doit rappeler que ce fut d'abord la gestion des terroirs villageois qui a constitué une première innovation en montrant l'utilité d'une plus grande responsabilité des usagers dans la gestion des ressources naturelles à l'échelle villageoise. Au Burkina, par exemple la RAF (Réforme agraire et foncière) ira jusqu'à institutionnaliser les CVGT (Comité villageois de gestion des terroirs).

Ensuite, dans les années 1990, plusieurs grands types de démarches ont été conduits en parallèles : la mise au point de réformes des dispositifs juridiques nationaux (Code rural au Niger, par exemple), le développement des expériences de Plans fonciers ruraux (Côte d'Ivoire, Bénin, Burkina Faso, Madagascar), l'appui à la gestion locale par l'élaboration de conventions locales de gestion des ressources communes. Plus récemment, le regain des politiques de décentralisation fait que la gestion du foncier communal se fait jour et différentes expériences intègrent la commune de manière plus ou moins centrale dans la gestion foncière.

Les premières expériences des PFR, Plans fonciers ruraux soutenus par l'AFD, ont visé la clarification des droits fonciers coutumiers, tels qu'ils sont perçus et vécus par les populations locales, en Côte d'Ivoire, au Bénin et au Burkina Faso. On recherchait la validation juridique de ces droits à partir des consensus sociaux, explicités à travers des opérations de publicité foncière. Mais, au vu des pratiques de mise en œuvre observées, les PFR se sont parfois réduits à des opérations de cadastre rural simplifié (Ouédraogo, 2005). De manière plus spécifique, les PFR présentaient des limites importantes au vu des particularités des zones sèches qui nous intéressent.

Les enseignements tirés de l'expérience des PFR sont mis en évidence par Ouédraogo (2005) dans une étude comparative de la mise en œuvre des Plans fonciers ruraux en Afrique de l'Ouest : Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire. De manière générale, le PFR a été utilisé comme outil d'identification des droits fonciers sur des terres agricoles. Les exemples du Bénin et de la Côte d'Ivoire, et pour l'essentiel du Burkina, concernent la sécurisation de parcelles agricoles individuelles ou familiales. Le PFR semble correspondre aux attentes des populations dans les zones où le processus d'individualisation des terres est très poussé (cas du Sud-Bénin)...

Par contre, la capacité des PFR à intervenir efficacement dans un contexte pastoral est largement questionnée dans cette étude. En zone sahélienne, les espaces pastoraux sont des espaces particulièrement diversifiés. Il s'agit tantôt d'espaces affectés exclusivement aux activités pastorales (l'agriculture y est alors interdite), et tantôt d'espaces à utilisations multiples (l'agriculture et l'élevage sont pratiqués, sur la base de la négociation de conventions relatives aux périodes et modalités d'accès aux ressources pastorales). Au Sahel, les espaces pastoraux n'appartiennent en propre ni à un individu, ni à un lignage déterminé. Ce sont des ressources communes, accessibles par tous. La mise en œuvre d'une opération PFR présenterait le risque d'obliger les acteurs à déterminer le titulaire des pâturages et à induire de manière indirecte une privatisation d'espaces de ressources communes, incompatible avec leur gestion équitable et durable.

Le second risque attribué à l'approche PFR est le cloisonnement d'espaces qui jusque-là étaient d'utilisations multiples. Enfin, les espaces pastoraux sont les premières victimes des pratiques d'occupation préventives des « espaces non exploités » induites par les PFR : non seulement les pâturages sont défrichés et annexés aux exploitations agricoles, mais les pasteurs sont l'objet de pressions et menaces visant à les empêcher de revendiquer quelque droit foncier que ce soit.

L'outil PFR n'est à l'évidence pas le moyen le plus approprié pour sécuriser les droits fonciers pastoraux. Ceci ne conduit pas cependant à disqualifier le PFR comme mode de sécurisation foncière dans un terroir agropastoral : il faut que l'outil PFR soit combiné avec d'autres approches complémentaires de sécurisation foncière telles que les conventions locales.

Outre ces risques soulignés par Ouédraogo (2005), un certain nombre de limites ont conduit à l'abandon des PFR. Ces expériences étaient essentiellement axées sur la régularisation de la tenure foncière par l'enregistrement des droits et la délivrance de titres de propriété (Comité technique « foncier et développement », 2008).

Tant en milieu rural qu'urbain, la « titrisation » a souvent été considérée comme nécessaire pour assurer la sécurité de l'occupation et la protection contre les évictions, favoriser les investissements en permettant l'accès au crédit et stimuler le marché foncier et faciliter le transfert des terres et terrains aux acteurs les plus productifs. Les expériences conduites dans les années 1990 à 2000, malgré un appui important des institutions financières internationales, ont montré qu'en définitive peu de programmes de titrisation ont pu être menés à leur terme. L'accès à la sécurité foncière par l'attribution massive de titres de propriété individuels est apparu rarement possible et pas toujours souhaitable pour des raisons techniques et administratives, économiques et culturelles. D'une manière générale, la pertinence et l'impact de la titrisation sur la réduction de la pauvreté sont aujourd'hui remis en question.

### **L'appui à l'amélioration des politiques foncières**

Le développement de politiques foncières pour faire face aux défis de la diversité, de la rareté et de la durabilité : alors que pendant longtemps, la question des politiques foncières était absente des préoccupations des États comme de leurs partenaires, depuis le milieu des années 1990, de nombreux pays se sont engagés dans des réformes ambitieuses qui associent reconnaissance juridique des droits locaux et dispositifs de gestion locale de ces droits. Elles se traduisent par des démarches progressives couplant expérimentations de terrain et évolution du cadre juridique et institutionnel.

L'accélération récente des processus d'appropriation et de concentration des terres cultivables par de grandes entreprises dans de nombreux pays du Sud a contribué aussi à remettre la question de la sécurisation des droits au cœur des politiques de développement.

La construction de politiques, l'évolution des cadres juridiques et institutionnels sont considérées comme une réponse pérenne à ce phénomène en matérialisant les arbitrages faits sur la terre. Plusieurs évolutions sont à noter à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, au Burkina Faso, au Niger, au Sénégal et à Madagascar (Chevrillon *et al.*, 2011).

La priorité est donnée à l'intégration des usages, en particulier par la lutte contre les évictions, en voulant répondre à la diversité des situations locales, en offrant un large éventail d'options en matière de tenure foncière. L'accent est mis sur la reconnaissance des droits des occupants quel que soit leur statut foncier légal, sur l'association à la décision de l'ensemble des acteurs, y compris les acteurs informels et les organisations communautaires de base, et sur la décentralisation des responsabilités en matière de gestion et d'administration foncière.

Ces objectifs rendent compte d'une conception nouvelle qui privilégie la consolidation des droits fonciers « par le bas » (c'est l'usage et les régulations foncières locales qui donnent accès aux droits fonciers formels et en protègent la jouissance) plutôt que leur création ou leur consolidation « par le haut » (l'attribution de la propriété par l'État, indépendamment des droits locaux).

Les axes prioritaires d'intervention mis en évidence dans le livre blanc foncier et développement sont mis en évidence par le Comité technique « Foncier et développement » (2008) :

- assurer la sécurité de la tenure foncière et la protection contre les évictions ;
  - garantir un accès équitable à la terre, pour/et proposer une large gamme d'options juridiques, répondant à la diversité des situations nationales et locales ;
  - promouvoir des choix en matière de gouvernance et d'administration foncière assurant équité et fiabilité dans la conduite des politiques foncières, en tenant compte de la diversité des types de droits rencontrés dans les espaces urbains et ruraux ;
  - renforcer les mécanismes d'arbitrage des conflits à tous les niveaux ;
  - concevoir des outils de planification spatiale adaptés aux nouveaux défis ;
- mettre en place des systèmes d'enregistrement des droits et des actes non exclusifs, adaptés aux situations rencontrées localement et compatibles les uns avec les autres ;
- enfin, réformer la fiscalité foncière/mettre en place une fiscalité sur le foncier bâti et non bâti, condition pour améliorer les ressources financières des collectivités locales, et moyen important de consolidation des droits fonciers et d'optimisation de l'utilisation des sols et des ressources.

Dans cette voie, la coopération française, à travers l'AFD et le MAEE, a accompagné les réformes foncières de nombreux pays africains, notamment en zone sèche. Ces interventions ne traitent pas de la seule question foncière, mais l'associent la plupart du temps à des objectifs d'aménagement du territoire, de développement économique et agricole, et de gestion des ressources naturelles.

Les limites de ces approches d'amélioration des politiques foncières : les expériences analysées dans l'étude de cas ne sont pas dénuées de limites qui doivent être considérées dans les nouvelles interventions. Ces limites ont particulièrement trait à la mise en œuvre effective des textes par les acteurs institutionnels sur le terrain. Ainsi, au Niger, le dispositif du Code rural qui présente un intérêt réel pour la sécurisation foncière des zones sèches n'est pas encore totalement mis en pratique par les acteurs institutionnels ; c'est la pression de la société civile qui, par ses interventions, permet de renforcer son application effective. Les différentes instances fonctionnent encore principalement avec l'appui des projets et la question du financement extérieur est aussi une des limites sérieuses au fonctionnement et à la durabilité d'un tel dispositif innovant.

## La décentralisation de la gestion des ressources communes : l'entrée communale

La décentralisation de la gestion du foncier : au Niger, la démarche du Code rural a débuté dans les années 1990, et a intégré la décentralisation administrative de

2004, faisant de l'échelon communal un des échelons clés de la gestion foncière et territoriale. À Madagascar et au Bénin, les réformes foncières ont été préparées en même temps que la décentralisation et c'est aux collectivités locales qu'est confiée la responsabilité de créer un dispositif pour gérer les certificats fonciers, au sein de Guichets fonciers spécifiques à Madagascar, au sein des services communaux des Affaires domaniales, foncières et environnementales au Bénin. L'accent mis sur la responsabilisation foncière des collectivités locales ne doit cependant pas mettre de côté certaines réalités qui limitent encore fortement l'action des communes dans la gestion du foncier rural des zones sèches.

Dans la pratique, même si elle est prévue dans la plupart des lois de décentralisation, la gestion du foncier est très rarement transférée (le Sénégal et Madagascar sont de rares exceptions) : à défaut de bénéficier effectivement du transfert de la responsabilité foncière, les collectivités sont associées aux négociations foncières (Burkina Faso, Niger). Dans la réalité, la gestion des terres est encore largement assurée à l'échelle des cantons, des villages et des communautés d'usagers. Les communes représentent un nouvel acteur qui peut être perçu comme un nouveau lieu de « centralisation » potentielle de la gestion foncière. Le territoire communal ne correspond pas forcément aux espaces pertinents du point de vue des ressources naturelles ou des pouvoirs locaux. La commune est une instance politique qui n'exclut pas non plus les risques d'une politisation accrue du foncier. Enfin, notons que dans les zones sèches, en particulier sahéliennes et sahariennes, les collectivités locales de base sont souvent très largement dépourvues des moyens essentiels qui leur permettraient d'assurer la base de l'administration communale. Ceci explique sans doute que les planifications communales qui constituent un des outils clefs de la gestion communale prennent en général très peu en considération les questions foncières et plus généralement les enjeux de gestion durable des ressources naturelles.

Des démarches de gestion concertée de l'espace et du foncier pastoral ont été développées en tenant compte de ces réalités, articulant planification communale et intercommunale, élaboration de principes stratégiques pour l'aménagement et la gestion, intégrant élus communaux, structures du Code rural et représentants socio-professionnels concernés (leaders des éleveurs transhumants et représentants des agriculteurs).

Au Niger par exemple, l'intégration des communes et des structures du Code rural dans l'aménagement des espaces et la sécurisation des ressources pastorales est une expérience d'initiative intéressante capitalisée. La démarche développée par le PSSP (Projet de sécurisation des systèmes pastoraux) a accordé beaucoup d'attention à la définition concertée, de principes communs de choix d'implantation des puits pastoraux, de gestion des ouvrages publics garantissant un accès plus équitable aux éleveurs transhumants. Les principes débattus publiquement entre les acteurs, l'ont été en étroite relation avec les textes existants : Code rural, Ordonnance sur le pastoralisme, Code de l'eau, textes sur la Décentralisation. Sur la base de la stratégie validée par les acteurs régionaux, la négociation des accords sociaux a été accompagnée patiemment, site par site, en s'assurant de l'inclusion des groupes transhumants.



Il en a été de même pour la sécurisation des espaces, couloirs, aires de pâturage, pour laquelle un apprentissage essentiel a été initié avec les CoFoDéps (Commissions foncières départementales) les amenant à jouer leur rôle dans la concertation avec les véritables leaders des transhumants, avec les élus et les autorités coutumières. Suite à cela elles ont accompagné pas à pas, c'est le cas de le dire, la délimitation concertée des couloirs et aires de pâturage, affrontant des situations tendues, amenant jusqu'à dégager des champs implantés au beau milieu des espaces pastoraux dans des zones agricoles de forte densité.

On comprendra aisément que cet apprentissage pragmatique et opérationnel de la gestion sociale et concertée des ressources pastorales par les acteurs de 41 communes (sur les 55) réparties sur 5 départements est producteur d'effets importants en termes de renforcement des capacités surtout partant d'une situation initiale caractérisée par des communes fraîchement installées (en juillet 2004) et des CoFoDéps disposant la plupart du temps de moyens trop limités pour exercer leurs mandats et responsabilités. Ces effets sont largement mis en exergue par les acteurs concernés eux-mêmes.

En définitive, dans les zones sèches, les collectivités locales pourraient bien constituer à terme un échelon intéressant, mais non exclusif, pouvant coupler proximité et service public, et construire cette conciliation du légal et du légitime qui est un enjeu clé des réformes foncières. Les collectivités locales doivent donc encore être largement renforcées avant de pouvoir remplir de telles fonctions et être dotées de la capacité juridique, réunissant des élus et pourvues de leurs propres services techniques.

## Gestion locale du foncier et des ressources naturelles : conventions locales et chartes

Parallèlement aux approches développées dans l'élaboration des politiques foncières, différentes expériences accompagnent une plus grande responsabilisation des acteurs locaux dans la gestion du foncier et des ressources communes. Deux études de cas approfondissent ce type de démarches axées sur la gouvernance locale au Burkina Faso et en Mauritanie. Dans les deux cas, les approches développées sont basées sur un processus de concertation impliquant les différentes catégories d'usagers, les autorités foncières et administratives, les collectivités locales et les différents acteurs institutionnels.

Les différences que l'on peut noter sont liées à la place accordée aux communes dans la responsabilité de gestion foncière et dans le type de reconnaissance juridique consentie effectivement par l'État aux règles établies par la concertation, comme aux entités de gestion constituées. Ces deux expériences traduisent bien la diversité des modes de gestion du foncier et des ressources communes qui se sont développés depuis la fin des années 1980, particulièrement dans les zones sèches d'Afrique

sahélienne. Les conventions locales sont probablement l'une des plus grandes avancées des dix dernières années en matière de gestion locale des ressources naturelles en Afrique de l'Ouest. Négociés entre acteurs locaux (groupements professionnels, utilisateurs des ressources, chefs coutumiers, collectivités locales, représentants de l'État, partenaires, etc.) et adoptés sous la forme de « conventions », ces accords fixent les règles, les droits et les devoirs de chacun dans l'utilisation et la gestion d'espaces locaux et de ressources naturelles. De tels accords sociaux peuvent répondre à des objectifs assez divers dans le domaine de la clarification des droits fonciers et la régulation des droits d'usages des ressources naturelles communes. Les conventions locales ont ainsi été développées dans des situations où une volonté locale s'est exprimée pour rationaliser l'exploitation abusive des ressources (forestières, pastorales, halieutiques, fauniques) et pour mettre fin à leur dégradation, régler ou prévenir des conflits liés à leur exploitation, définir les vocations d'aménagement et de gestion de l'espace à différentes échelles.

On citera l'exemple des actions initiées au Burkina dans la commune de Samoroguan par le programme Negos-GRN (Banaon *et al.*, 2012). L'expérience vise l'émergence de conventions locales de gestion des ressources naturelles, issues de négociations entre acteurs locaux et qui s'inscrivent dans des réglementations nationales leur assurant une stabilité juridique.

Le diagnostic a mis ici deux points en évidence : d'une part, la zone pastorale a cristallisé de multiples enjeux et tensions entre agriculteurs et éleveurs du fait de la forte contradiction entre la persistance de l'État à légiférer sur son statut pastoral et son absence complète de moyens pour mettre en œuvre ses textes, dont le dernier en date était un cahier des charges décrété en 2009 ; d'autre part, le dernier article de ce cahier des charges fournissait la possibilité de relire le contenu du cahier à l'aune des propositions des populations concernées par la zone pastorale. Ce dernier point fournissait la possibilité légale de développer un dispositif de concertations locales pour mettre en débat le cahier des charges et dans le même temps recueillir les propositions des populations en matière d'affectation de l'espace à l'agriculture et au pastoralisme.

Les concertations ont été développées à quatre niveaux complémentaires pour aboutir à un zonage des modes d'utilisation et d'occupation de la zone pastorale (zone d'habitat, zone agricole, zone à pâture exclusive, etc.).

– Diverses négociations ont été conduites au niveau du ministère de l'Élevage pour partager leurs résultats et faire prendre conscience de la situation aux décideurs [principalement la Direction générale des espaces et des aménagements pastoraux (DGEAP)].

– Un Groupe d'apprentissage mutuel national a également été organisé entre le ministère et ses directions déconcentrées et les autres ministères, notamment le ministère de la Justice, permettant de présenter l'histoire de la zone, la situation sociopolitique au niveau local et la situation de la zone.

– Au niveau de chaque village, les concertations ont réuni agriculteurs et éleveurs pour mettre en débat le contenu du cahier des charges et recueillir le point de vue des habitants des ranchs concernés.

– Au niveau de la commune, la concertation a réuni le maire et ses adjoints, les représentants de chaque village où se déroulèrent les concertations, les services techniques concernés par la zone pour partager avec la commune et les services techniques locaux le point de vue des villageois et le valider.

Au-delà du zonage produit, les résultats enregistrés dans le cadre de cette expérience qui demeure récente mettent en évidence une fois de plus l'intérêt des approches concertées de la gestion du foncier et des ressources communes, grâce au dialogue pluri-acteurs. Des premiers effets sont aussi soulignés au plan des ressources naturelles et des relations entre usagers. Les rédacteurs de l'étude de cas mentionnent notamment la réduction des défriches dans la zone pastorale grâce à l'organisation de la surveillance et de la sensibilisation. Ils notent aussi la baisse des tensions entre agriculteurs autochtones et allochtones, ainsi que l'instauration d'un dialogue de confiance entre population et administration. Mais des limites importantes de l'expérience sont pointées, les consensus obtenus restant fragiles tant qu'ils ne sont pas inscrits dans les dispositifs officiels.

Un éclairage complémentaire du fait de la durée (10 ans d'expérience) et de l'importance accordée à la dimension juridique des conventions locales est mis en évidence en République islamique de Mauritanie. Il s'agit là d'une expérience assez unique dans les régions sahéliennes. Le transfert de mandat de gestion des ressources sylvo-pastorales communes par l'État est effectif et les conventions locales ont une valeur réglementaire (Bonnet, 2011). Les zones pastorales et agro-pastorales de Mauritanie voient leurs ressources naturelles fragiles particulièrement menacées par les facteurs démographiques et sociaux (notamment la dynamique de sédentarisation des populations depuis une vingtaine d'années). Mais on assiste aussi au développement de pratiques d'exploitation commerciales, minières de ces ressources en zone sèche : exploitation massive du bois pour le charbon de bois, coupe des rônneraies protégées, sur-exploitation du baobab, exploitation du pâturage par de grands troupeaux appartenant à des éleveurs urbains. Le cadre juridique définissant les règles d'exploitation des ressources communes, construit sur la base d'une politique de gestion étatique centralisée, a longtemps induit également une déresponsabilisation des usagers dans la gestion, accentuant de fait les pratiques de gestion non durables et non équitables des ressources naturelles.

Cette initiative de la coopération mauritano-allemande s'est appuyée au départ sur une ouverture offerte par le décret d'application du Code pastoral. Celui-ci reconnaissait dès 2004 la possibilité pour les communautés et les usagers de l'espace et des ressources sylvo-pastorales d'élaborer des conventions locales, constituant de véritables codes locaux complémentaires et opposables aux autres législations. Partant de cet instrument-clé destiné à faciliter la gestion décentralisée des ressources partagées, la coopération mauritano-allemande a progressé en même temps sur le terrain dans l'expérimentation de la gestion locale des ressources naturelles et dans l'amélioration du cadre juridique de ce transfert du mandat de gestion de l'État en direction des usagers organisés.

En 2007, le cadre juridique a renforcé ces premières orientations politiques. Le ministère délégué de l'Environnement et du Développement durable a accompagné

la promulgation d'un nouveau Code forestier. Il autorise et définit pleinement le transfert de la gestion des espaces aux collectivités locales. Ces dernières peuvent ainsi déléguer cette fonction à des entités de gestion intervillageoises sous réserve d'élaboration d'une convention locale qui assure la gestion durable de l'espace.

Depuis mars 2009, ces orientations majeures en matière de décentralisation de la gestion des ressources naturelles sont traduites en décret d'application. Celui-ci définit de manière opérationnelle les modalités et conditions précises autorisant le transfert et la délégation des droits d'exploitation du domaine forestier. Les collectivités locales qui en font la demande peuvent bénéficier du transfert des droits d'exploitation des forêts et des terres forestières. Une commission est constituée au niveau des Moughataa, elle instruit les demandes de transfert transmises par le Délégué régional de l'environnement et du développement durable (DREDD). Ce décret offre aussi la possibilité de mettre en place au sein de l'espace communal des dispositifs de gestion locaux décentralisés. C'est ce que définit l'article 8 portant délégation de la gestion à des associations impliquées dans la gestion des forêts.

Transfert et délégation de gestion portent sur la gestion de l'espace sylvo-pastoral délimité de manière consensuelle avec les communautés, les différents groupes d'usagers et les services de l'État. Ils ne constituent nullement une appropriation foncière de l'espace. Ce transfert de la responsabilité de gestion s'inscrit dans la durée, le mandat étant attribué pour dix ans. Il peut être remis en cause quand une dégradation des ressources imputable à la gestion est observée ou que la représentativité sociale de l'association mandataire est contestée.

La démarche développée dans cette expérience se caractérise par un engagement dans la durée, sur plus de dix ans, de l'État et de la coopération allemande dans une double intervention articulant aménagement du cadre juridique national (Code pastoral, puis code forestier) et expérimentation de modes de gestion durable des ressources sylvo-pastorales impliquant directement les usagers et les collectivités. Avec les multiples enjeux dont il est porteur, le transfert de responsabilité de gestion des ressources aux organisations locales s'inscrit dans un processus qui implique un accompagnement important.

La démarche d'accompagnement du transfert de responsabilité de gestion au niveau local consiste en une succession de concertations locales, de négociations avec les communes, les services techniques et l'administration, de travaux de planification et d'organisation, de démarches de reconnaissance administrative et juridique... Il aboutit à la création d'Associations de gestion locale collective, dites AGLC, officiellement responsables de la gestion d'un espace sylvo-pastoral bien défini.

Une première phase de construction et de reconnaissance légale est d'abord nécessaire pour que les associations de gestion locale collective des ressources naturelles se voient officiellement attribuer le mandat de gestion. C'est une succession d'étapes importantes qui est à franchir de manière formelle.

Suit une phase d'apprentissage de la gestion décentralisée, dite qualification de l'organisation. Elle exige un accompagnement de proximité permettant à l'association d'atteindre un degré d'autonomie suffisant au cours des deux ans suivant la constitution, la reconnaissance des associations et le transfert du mandat de gestion.

Au-delà de cette période de qualification, un suivi externe plus ponctuel par les communes et les DREDD (Délégation régionale de l'environnement et du développement durable) permet aux associations de renforcer leur progression et de trouver des réponses aux questions qui ne manquent pas de se poser dans la gestion locale.

Des résultats reconnus au plan de la faisabilité du transfert et des modalités de gestion développées. Entre 2001 et 2011, le transfert de gestion de l'État au profit d'associations locales d'usagers s'est concrétisé dans ce même cas par la constitution d'une quarantaine d'associations reconnues par l'administration et accompagnées dans la gestion de leur espace. Au Guidimakha, une des deux régions concernées par cette intervention, ces résultats sont explicités de la manière suivante.

Des effets observables au regard des différentes dimensions de la durabilité. Comme le montre l'étude de cas présentée ci-dessus, tout au long de ces dix années d'appui à la décentralisation de la gestion des ressources naturelles en Mauritanie, différents travaux de suivi des effets de ce type d'approche ont été menés. Ils ont combiné la mise en place d'outils de suivi de l'évolution des ressources naturelles à l'échelle locale et régionale et différentes évaluations qualitatives intégrant le regard des acteurs et des usagers sur ce processus de décentralisation des ressources (Bonnet, 2011). Parmi les effets enregistrés figurent en premier lieu la réduction des conflits et le renforcement des liens intercommunautaires, le renforcement de la gouvernance et du capital social de gestion des ressources naturelles, la régénération et l'amélioration du couvert végétal, l'amélioration des revenus grâce aux ressources préservées.

Au plan de la durabilité, il est intéressant de noter que le système de gestion promu fait le pari d'une voie médiane entre deux modèles tendanciels en débat. La gestion expérimentée jusque-là correspond à une forme de régulation des ressources qui s'inscrit entre deux tendances extrêmes, opposées et non viables.

D'un côté, l'accès totalement libre et dérégulé est favorisé par la perte d'influence des modes de contrôle traditionnels des ressources et l'absence de relais par une gestion publique des ressources. Cette voie conduit à l'exploitation non durable, profondément inéquitable et minière, conduisant à la surexploitation et à la montée des conflits entre usagers.

De l'autre, la propriété privée absolue et exclusive se développe. La privatisation des ressources communes parfois considérée comme une alternative au libre accès n'a pas grand sens dans les zones sahéliennes considérées. La variabilité des ressources naturelles incite à la flexibilité et à la mobilité et non à l'investissement foncier lourd sur des espaces clos et délimités. Les nombreuses tentatives d'appropriation privée de grands espaces sahéliens ont en grande majorité montré leurs limites techniques, économiques et sociales.

La voie médiane promue à travers les associations locales en Mauritanie paraît de loin la plus adaptée aux critères sociaux et environnementaux sur lesquels s'appuie le développement durable. Elle reconnaît officiellement la responsabilité de gestion des ressources communes déléguée aux communautés qui exercent des droits prioritaires. Elle met en œuvre une régulation collective et négociée des ressources naturelles. Elle reconnaît la nécessaire flexibilité de l'accès aux ressources inhérentes

aux aléas récurrents. Elle s'articule à la décentralisation, permettant aux communes de déléguer leur responsabilité à des structures plus opérationnelles sur le terrain pour la gestion des ressources naturelles.

Dans le cas de l'expérience mauritanienne, sur la quarantaine d'associations qui se sont constituées depuis les dix dernières années dans le cadre de cette approche, aucun mandat de gestion déléguée n'a été remis en cause. Malgré les difficultés rencontrées et le peu de ressources financières dont disposent ces jeunes institutions, les gestionnaires locaux bénéficiaires de la délégation de ce mandat (bureau exécutif, surveillants, usagers...) manifestent la volonté d'être à la hauteur des responsabilités qui leur sont confiées. La symbolique du transfert de mandat est très forte. Elle formalise la reconnaissance, par l'État, de la responsabilité des usagers locaux comme acteurs de la gestion durable des ressources naturelles dont ils tirent l'essentiel de leurs moyens d'existence.

Des défis demeurent : poursuivre la réforme des services déconcentrés de l'Environnement. Entre 2001 et 2011, l'enjeu était double : d'abord démontrer la faisabilité d'un véritable transfert formel de responsabilité au profit des usagers organisés et reconnus comme gestionnaires, ensuite appuyer l'État dans la réforme de ces principaux textes juridiques de manière à autoriser une véritable décentralisation de la responsabilité de gestion. Le chantier qui s'ouvre pour les dix prochaines années est celui de la réforme des services déconcentrés de l'État qui voient nécessairement leur mission évoluer dans ce nouveau paysage institutionnel induit par la décentralisation de la gestion des ressources communes.

Le renforcement de ces acquis et l'extension de l'approche à l'échelle nationale s'inscrivent dans les orientations prises par l'État mauritanien en matière de décentralisation et répondent aux aspirations légitimes des communes et des communautés. Elles doivent s'appuyer sur deux grands axes complémentaires. En premier lieu, la poursuite de l'adaptation du cadre juridique de la décentralisation des ressources naturelles est indispensable. En second lieu, l'accompagnement des services déconcentrés dans l'acquisition des capacités exigées par leurs nouvelles fonctions de suivi et contrôle des communes et des structures décentralisées de gestion des ressources naturelles est indispensable.

## Bibliographie

Almy Bahaïm 2  
bilan capitalisation, BURGEAP, VSF, AFD  
Tchad, 2003.

Banaon N., Mansion A., Hochet P.  
2012. NEGOS Burkina :  
Lutte contre la désertification et gestion  
décentralisée et négociée des ressources  
naturelles et foncières en Afrique sahélienne.

In Deygout et al. 2012. Etude de cas 18.  
Samorogouan au Burkina Faso. 9 p.

Bonnet B.  
2011. La décentralisation de la gestion  
des ressources naturelles en Mauritanie.  
Expériences et enseignements 2001-2011  
du Programme de Gestion des ressources naturelles,  
MDEDD, GIZ, ECO, Iram, 38 p. octobre 2011.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Bonnet B., Djadou M., Adoum M., Yemye Lambert W., Ablao M., Boutna A. 2011. 1994-2011 enseignements d'une expérience de renforcement de la gestion locale des ressources communes au Tchad, PRODALKA, ECO-IRAM, GIZ, 72 p. avril 2011.
- E. Botoni, C. Reij 2011. Plus de gens, plus d'arbres" : développement des systèmes agroforestiers au Sahel, 9 p.
- Bosc P.-M., Dollé V., Garin P., Yung J.M. Le développement agricole au Sahel, tome I – Milieux et défis, 1992, 344 p.
- Brender P., Hiernaux P., Ciais P., Maignan F., Zhao Y. 2010, On the causes of the recent Sahel 're-greening': a review Acknowledgements : C. Otle.
- Chevriillon A., Basserie V., Mansion A., Tessier A. 2012. Sécurisation foncière et durabilité des systèmes agricoles en zone sèche, des défis à relever en commun : mécanismes institutionnels pour intégrer la gestion décentralisée des ressources. 10 p. Etude de cas 17, in Deygout et al. 2012.
- Deygout Ph., Treboux M., Bonnet B. 2012, Ministère des Affaires Etrangères et Européennes, Direction Générale de la Mondialisation, du Développement et des Partenariats. IRAM. Systèmes de production durables en zones sèches : quels enjeux pour la coopération au développement ? Synthèse. 25 p.
- Djerma, A., Gremah, A., Hérault, D., Malam Ousseini, O., Bodé, S., Salé, A., Abari, M., Elh. Attoumane, I., Lawane, B., Bonnet, B., Barré, A., Bénard, C. (2009). La mobilité pastorale dans la région de Zinder. Stratégies et dynamismes des sociétés pastorales, PSSP, 115 p.
- Doka-Diara M., Luxereau A. Déboisement – reboisement en pays hausa : évolution des paysages et du rapport à l'arbre. (2004). 13 p.
- Gautier D., Montagne P., Rives F., Peltier R. 2012, Gestion communautaire pour l'approvisionnement énergétique des centres urbains sahéliens en bois énergie et intégration d'espaces naturels multi-usages.
- Impacts sur les conditions d'existence des populations rurales et les dynamiques environnementales. 11 p. Etude de cas 22, in Deygout Ph. Treboux, 2012.
- Heidi Humer-Gruber, GIZ 2011, Green Sahel, Symposium Documentation, Gustav-Stresemann Institut, Bonn, 28. October 2010, 22 p.
- Hérault D., Bonnet B. Rapport final d'exécution et de capitalisation du projet de sécurisation des systèmes pastoraux dans la région de Zinder, IRAM, 231 p.
- Herrmann S. M., Anyamba A., Tucker C.J. 2005, Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change* 15 (2005) 394-404.
- Hiernaux P. (CESBIO), Bagoudou Maidaji (pastoraliste) (2006). Projet PSSP Zinder, évaluation des risques environnementaux liés à la gestion des ressources naturelles de la Région de Zinder, mission d'appui IRAM au volet gestion des ressources pastorales, 14 novembre – 2 décembre 2006, 63 p.
- Malachie N. Dolmia mars 2011, appui à la gestion locale de la faune, PRODALKA, 51 p.
- Ostrom E. 2010, Gouvernance des biens communs. Pour une nouvelle approche des ressources naturelles, ed. de boeck, 301 p.
- Qualbadet Magomna 2011, document 3 ; appui à la gestion locale de la pêche, PRODALKA, 89 p.
- Ouédraogo H. 2005. Etudes juridiques de la FAO en ligne janvier 2005. Etude comparative de la mise en oeuvre des Plans fonciers ruraux en Afrique de l'Ouest : Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire par, 41 p.
- Reij C., Steeds D. March 18, 2003. Success stories in africa's drylands supporting advocates and answering sceptics. A paper commissioned by the Global Mechanism of the Convention to Combat Desertification, CIS/Centre for International Cooperation, Vrije Universiteit Amsterdam, 03-033.ifad-ccd-gm/cry/jhe, 37 p.

## **La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux**

Rochette, R.M  
(1989). Le Sahel en lutte contre la désertification :  
leçons d'expérience. Deutsche Gesellschaft  
für Technische Zusammenarbeit (GTZ),  
GmbH, Eschborn.

Toudou A., Reij C., Abdoulaye T.,  
Larwanou M., Tappan G., Yamba B.  
CRESA Niamey. Impacts des investissements  
dans la gestion des ressources naturelles  
au Niger : rapport de synthèse, 65 p.





# *Jatropha curcas* L. au Sénégal : enjeux, état des lieux de sa culture et possibilités dans les aménagements de la Grande Muraille Verte

IBRAHIMA DIEDHIOU  
École Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Université de Thiès, Thiès, Sénégal  
E-mail : ibrahima\_diedhiou@hotmail.com,  
Fax : +221 33 951 15 51

DJIBY DIA  
Bureau d'Analyses Macro-Économiques, Institut Sénégalais de Recherches agricoles, Dakar, Sénégal  
E-mail : djibydia@gmail.com, Fax : +221 33 832 24 27

CHEICKH SADIBOU FALL  
Bureau d'Analyses Macro-Économiques, Institut Sénégalais de Recherches agricoles, Dakar, Sénégal  
E-mail : djibydia@gmail.com, Fax : +221 33 832 24 27

## Résumé

La crise énergétique de cette dernière décennie combinée à l'impératif de la prise en compte des principes de durabilité dans les politiques de développement économique et social a créé un regain d'intérêt pour les énergies renouvelables, mais surtout pour les biocarburants. Dans ce contexte, le Sénégal et d'autres pays de la sous-région ouest-africaine ont opté pour la culture de *Jatropha curcas*, plante dont l'huile contenue dans les graines peut être utilisée comme source d'énergie pure ou après production de biodiesel par transestérification. C'est pourquoi, *Jatropha* est de plus en plus intégrée dans les programmes de développement agricole et de gestion des ressources naturelles.

Ce travail qui est une synthèse bibliographique a permis de situer les enjeux de la culture de *Jatropha* au Sénégal et d'en dresser l'état des lieux. En outre, il a montré que *Jatropha* présente des atouts réels pour son intégration dans les aménagements de la Grande Muraille Verte. Une telle initiative pourrait avoir des impacts positifs pour les écosystèmes (contrôle de l'érosion, maintien de la fertilité, revégétalisation)

et les populations locales (revenus, énergie renouvelable, vertus médicinales, bois de service). Toutefois, son succès passe par le renforcement du cadre juridique et réglementaire et de la recherche-développement mais aussi par la prise en compte des attentes et du potentiel d'innovation des populations locales.

### Mots clés

JATROPHA, GRANDE MURAILLE VERTE, ENJEUX, SYSTÈMES DE CULTURE, SÉNÉGAL

## Introduction

La crise pétrolière à laquelle le monde est actuellement confronté a poussé de nombreux gouvernements à se lancer dans la recherche de nouvelles sources d'énergie pour soutenir leur développement économique. C'est dans ce contexte que, depuis 2004, beaucoup de pays africains ont inscrit la promotion des biocarburants dans leur agenda politique. Cette dynamique a conduit à la tenue en 2007 à Addis Abeba (Éthiopie), du premier séminaire sur les biocarburants en Afrique qui a abouti à l'adoption de la déclaration de Addis Abeba et d'un plan d'action pour le développement durable des biocarburants en Afrique (Conliffe et Kulovesi, 2008). Les pays de l'Afrique de l'Ouest ne sont pas restés en marge de ces initiatives. En 2005, beaucoup de pays de l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA) ont fait de la promotion des biocarburants un enjeu majeur de leur politique environnementale, économique, agricole et énergétique. Au Sénégal, l'option politique concernant les biocarburants repose essentiellement sur le développement de la filière *Jatropha curcas* L. Elle s'est traduite par la mise en place d'un programme national « biocarburants », orienté prioritairement vers la promotion de la culture de *Jatropha* et l'adoption en 2010 d'une loi d'orientation sur cette filière. Les objectifs du programme national « biocarburants » sont de contribuer à l'autosuffisance énergétique nationale par la production de bioénergie, de diversifier la production agricole en créant une nouvelle filière, d'améliorer la balance commerciale et des paiements et de réduire la pauvreté en milieu rural. Il projetait de planter 1 000 ha de *Jatropha* dans chaque communauté rurale du pays, soit 321 000 ha à l'échelle du pays. Sa mise en œuvre se fait en partenariat avec les collectivités locales, les organisations paysannes et le secteur privé. Le choix de *Jatropha* comme espèce prioritaire se justifie par le fait que ses graines contiennent une huile de haute valeur énergétique dont les propriétés sont comparables à celles du diesel. En outre, cette plante est peu exigeante et fournit divers produits et avantages qui favorisent un développement rural intégré. Des expériences réussies de plantation de cette espèce existent au Sénégal.

Toutes ces potentialités de *Jatropha*, combinées au contexte favorable pour sa culture au Sénégal font que cette plante pourrait jouer un rôle important dans les programmes environnementaux de réhabilitation des terres dégradées ou marginales dont l'objectif est de restaurer la base productive des terres et d'améliorer les conditions socio-économiques des populations rurales.

Dans ce contexte, l'objectif de cette contribution est de situer les enjeux de la culture de *Jatropha* au Sénégal, d'en faire l'état des lieux et enfin, d'analyser les possibilités d'intégration de cette plante dans les aménagements de la Grande Muraille Verte.

## Historique de l'introduction de *Jatropha* en Afrique de l'Ouest

*Jatropha curcas* ou Pourghère en français, Physic nut en anglais, *Tabanani* en wolof, est un arbuste non comestible appartenant à la famille des Euphorbiacées. Il peut atteindre de 2 à 8 m de hauteur. Ses feuilles sont simples, alternes pouvant aller jusqu'à 17 cm de long et 15 cm de large. Elles sont pentagonales, cordées à la base et acuminées au sommet. Ses fleurs sont groupées en inflorescences (corymbe) avec des pétales de couleur vert blanchâtre et des sépales de couleur verte. Les fleurs apparaissent avec les premières feuilles ou juste avant la feuillaison (Heller, 1996).

*Jatropha* est originaire de l'Amérique centrale et du Mexique où il pousse naturellement dans les forêts des régions côtières (Aponte, 1978) ; mais ses centres de diversification sont nombreux (Amérique latine, Asie, Afrique). Il aurait été introduit en Afrique par les Portugais et les Espagnols, à travers les échanges maritimes, vers le XVI<sup>e</sup> siècle *via* les îles du Cap-Vert (Heller, 1996).

Au Sénégal, l'intégration de *Jatropha* dans les systèmes de culture n'est pas récente (Kane, 2010). Elle remonte à la période coloniale et pourrait avoir été favorisée par sa proximité avec les îles du Cap-Vert. L'espèce était alors utilisée comme haies vives de délimitation des champs. Sa production était exportée vers la France où son huile était utilisée dans la fabrication du célèbre savon de Marseille. En outre, *Jatropha* était cultivée pour ses vertus médicinales et son bois qui était utilisé comme source d'énergie dans les ménages ruraux.

L'ONG américaine InterpriseWorks (ex. « Appropriate Technologies International ») est un des pionniers dans la promotion de *Jatropha* au Sénégal. Au cours de la décennie 1990-2000, elle a développé un programme test dont les groupements de promotion féminine étaient les principaux bénéficiaires. Son objectif était la démultiplication de *Jatropha* pour la production d'huile utilisable d'une part, comme source d'énergie pour le fonctionnement des moteurs de moulins et d'autre part, pour la production de savon. Ce programme a permis de planter 125 951 arbres (Kane 2010). Ces résultats ont incité d'autres structures à se lancer dans la promotion de *Jatropha*. Ainsi, entre 2003 et 2006, le Progede (Projet de gestion durable et participative des énergies traditionnelles et de substitution) a réalisé des plantations dans les régions de Tambacounda et Kédougou avec comme finalité d'explorer les possibilités de production de biodiesel à partir de l'huile extraite de la graine de *Jatropha* (Gaye, 2007). En 2008, la société privée African National Oil Corporation

a démarré dans la région de Fatick, une production à grande échelle de graines de *Jatropha* pour la production de biodiesel. À ce jour, elle a déjà réalisé des plantations d'une superficie totale de 1 100 hectares.

## Enjeux de l'introduction de la culture de *Jatropha* dans les systèmes de production

La consommation énergétique du Sénégal a connu, à partir des années 2000, une forte hausse, tant du point de vue du volume que des prix. Plusieurs facteurs contribuent à accroître la consommation énergétique nationale, dont le facteur urbain. En effet, l'urbanisation du Sénégal est également caractérisée par une croissance régulière. Près de la moitié de la population nationale (42,4 % en 2010) est établie dans les centres urbains (Guengant, 2011). La demande énergétique nationale est dominée par les ménages dont la part correspond à 54 % de la consommation totale. Cette part a connu un accroissement d'environ 15 % entre 2000 et 2006, et elle s'explique principalement par la croissance démographique. Par ailleurs, le secteur du transport occupe la deuxième position en termes de consommations énergétiques, suivi de celui de l'industrie, avec des parts respectives de 34 % et 9 % (fig. 1).

Le diesel et le gasoil permettent de satisfaire plus de la moitié des besoins énergétiques du secteur des transports, dominé par les voies de communication terrestre. Ceci peut s'expliquer par le développement du parc automobile, qui a connu une hausse de 38,2 % entre 1995 et 2005.

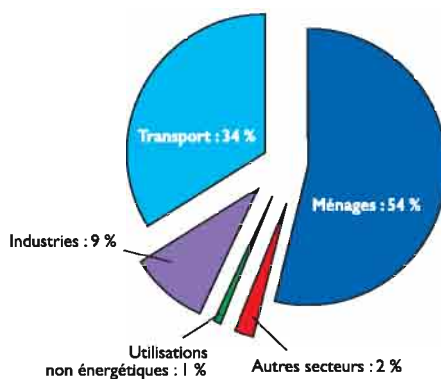


Figure 1.  
Consommations finales par secteur.  
(d'après données SIE-Sénégal, 2007)

Les approvisionnements en énergie du Sénégal sont dominés par la biomasse (57 %), suivie des produits pétroliers (38 %).

Avec un total de 2 989 Ktep (Kilo de tonnes équivalent pétrole) pour l'année 2006, l'approvisionnement du Sénégal en énergies primaires a connu une croissance de 9 % par rapport à l'année précédente. Cet approvisionnement repose majoritairement sur la biomasse et les produits pétroliers représentant plus de 95 % du total (fig. 2).

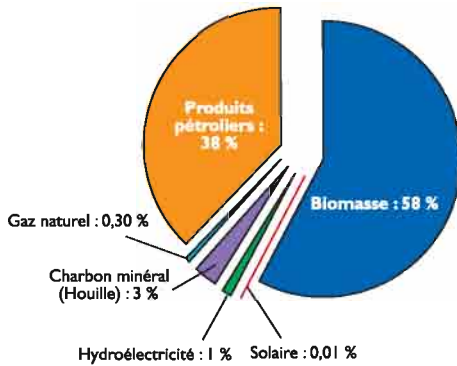


Figure 2.  
Offre intérieure par type d'énergie au Sénégal en 2006.  
(d'après données SIE-Sénégal, 2007)

Pour l'année 2005, la biomasse occupait la seconde place (43,51 %) en termes d'approvisionnement, derrière les produits pétroliers (51,71 %, SIE-Sénégal, rapport 2005). Cependant, la tendance s'est inversée en 2006 avec une progression de la part de la biomasse sur le total des approvisionnements (58 %, SIE-Sénégal, rapport 2007), soit 1 734 Kt de bois, en raison du recours aux énergies traditionnelles. Le potentiel en biomasse est estimé à 331,3 millions de mètres cubes, principalement assuré par les régions méridionales du Sénégal : 50 % pour Tambacounda et 40 % pour Kolda et Ziguinchor (Enefebio, 2007). De plus en plus, ces zones forestières sont sujettes à une exploitation intense de la biomasse. Le bois de feu et le charbon de bois représentent les deux formes de biomasse utilisées par les ménages ruraux et urbains comme combustible domestique.

Le Sénégal, en dépit d'un potentiel énergétique appréciable, est confronté à des contraintes d'approvisionnement. De nombreuses options politiques sont entreprises par le gouvernement pour réduire la dépendance énergétique.

L'hydroélectricité constitue une autre source d'approvisionnement en énergie, mais elle a occupé une part assez marginale (1 %) sur l'offre énergétique globale en 2006 (SIE-Sénégal, rapport 2007). Cette source d'approvisionnement n'est pas négligeable, puisque le potentiel de production des deux fleuves Sénégal et Gambie est estimé à 1 000 mégawatts par an (Minvielle, 1999).

La part du Sénégal dans la production hydroélectrique du barrage de Manantali s'élève à 234 gigawatts-heure en 2006 ; ce qui représente environ 10 % de la

production totale d'électricité au Sénégal. Cette production a connu une baisse par rapport à celle de l'année 2005 (267 gigawatts-heure), liée surtout à la baisse du productible de Manantali. Le barrage de Manantali (barrage régulateur et centrale hydroélectrique) est un ouvrage commun au Mali, à la Mauritanie et au Sénégal, édifié sur le Bafing (fleuve Sénégal) pour produire environ 800 millions de kilowatts-heure d'énergie hydroélectrique.

Le potentiel solaire et éolien est considérable (tabl. I) ; son exploitation permettrait de combler le déficit énergétique du pays. En effet, le Sénégal dispose en moyenne de 3 000 heures d'ensoleillement annuel. L'énergie solaire reçue est estimée à 2 000 kilowatts-heure par mètre carré et par an (Youm *et al.*, 2000). Cependant, le coût des installations est souvent avancé comme un obstacle majeur au développement du solaire en tant que source d'approvisionnement énergétique. Malgré le niveau des investissements requis pour l'installation du solaire, l'État a mis en place une politique d'électrification rurale – pilotée par l'Agence sénégalaise d'électrification rurale (Aser) – utilisant cette source d'énergie. Par ailleurs, l'énergie éolienne devrait aussi être exploitée, avec des vitesses de vent comprises entre 3 et 5 mètres par seconde et un potentiel journalier extractible estimé à 1,5 kilowatt-heure par mètre carré (Youm *et al.*, 2000).

Enfin, le gaz naturel et le charbon minéral constituent d'autres sources d'énergie, même si leurs contributions à l'approvisionnement énergétique du pays restent souvent négligeables (fig. 2). Le gaz naturel est transformé par la Senelec pour assurer sa production d'électricité, bien que sa part y reste négligeable, comparée aux produits pétroliers comme le fioul ou le diesel-oil. Les potentialités en gaz naturel sont estimées à 400 millions de mètres cubes en 2007. Il existe un grand site d'exploitation dans la zone de Diamniadio. En outre, le pays détient quatre turbines à gaz d'une puissance totale de 88 gigawatts-heure, équivalant à 8 % de la fourniture en énergie. Leur âge est compris entre 4 et 32 ans (République du Sénégal 2005).

Tableau I  
Types, localisation et potentialités des ressources énergétiques du Sénégal

Ressources	Sites	Potentiel
Biomasse	Tambacounda, Kolda, Ziguinchor	331,3 millions de m <sup>3</sup>
Pétrole	Casamance (Pétrole lourd)	100 millions de m <sup>3</sup>
Gaz naturel	Diamniadio	400 millions de m <sup>3</sup> (réserves de 30,4 milliards de m <sup>3</sup> )
Tourbes	Niayes	390 millions de m <sup>3</sup>
Hydroélectricité	Fleuves Sénégal et Gambie	1 000 MW
Solaire photovoltaïque	Tout le territoire	6 kWh/m <sup>2</sup> /jour 3 000 heures d'ensoleillement
Eolien	Grande côte	5 m/s

(Source : Enda Énergie 2005 ; Enefebio 2007)

Avec une consommation annuelle de près de 500 000 tonnes de produits pétroliers, les besoins de la Senelec représentent un poids de l'ordre de 49 % de la demande nationale en 2006.

Le secteur énergétique sénégalais se caractérise par une forte dépendance vis-à-vis des importations de pétrole pour faire face à ses besoins en énergie commerciale et particulièrement pour la production d'énergie électrique. Par conséquent, ce secteur éprouve d'énormes difficultés pour assurer convenablement l'approvisionnement des ménages, de l'industrie, ainsi que de tous les autres secteurs d'activités. Le renchérissement sans précédent des prix des produits pétroliers a été, en effet, le déclencheur d'une grave crise du système d'approvisionnement énergétique, manifestée par des périodes de pénurie dans la distribution aussi bien des carburants, du gaz butane que de l'électricité. Ce qui a d'ailleurs entraîné entre 2009 et 2011 des soulèvements populaires contre les délestages intempestifs.

Par ailleurs, la forte dépendance vis-à-vis du pétrole importé place le Sénégal parmi les pays où l'énergie coûte très cher et rend difficile la gestion macroéconomique, en vue d'une maîtrise de l'inflation et de la lutte pour l'éradication de la pauvreté. La crise énergétique pose ainsi une sérieuse hypothèque sur la croissance économique, imposant ainsi à l'État des efforts financiers colossaux pour restaurer les conditions de fonctionnement du secteur. En 2006, près de 140 milliards de FCFA ont été dépensés en termes de subvention dans le secteur énergétique.

À titre d'illustration, la facture pétrolière du Sénégal est passée de 185 milliards de FCFA en 2000 à 384 milliards de FCFA en 2006, puis à 623 milliards de FCFA en 2008, soit une hausse de plus de 40 % en deux ans (fig. 3). Aussi, plus de 46 % du revenu des exportations sont-ils mobilisés pour honorer cette facture (SIE 2007).

Dans un contexte caractérisé par une crise du secteur énergétique, les autorités sénégalaises réfléchissent sur de nouvelles options politiques pour réduire les importations d'hydrocarbures et acquérir une certaine indépendance énergétique. C'est dans cette perspective que s'inscrit la promotion des biocarburants au niveau national, dont *J. curcas* est la plante la plus mise en exergue.

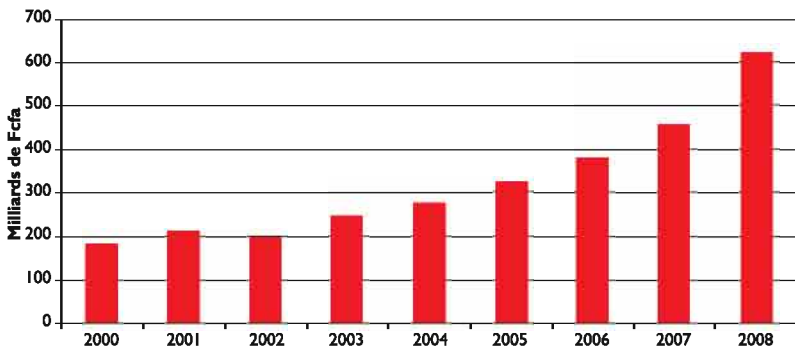


Figure 3.  
Facture pétrolière du Sénégal de 2000 à 2008.  
(Source : Statistiques SIE)



Du point de vue politique, trois « Lettres de politique de développement du secteur de l'énergie » (LPDSE) datant de 1997, 2003 et 2008 ont ponctué la vision gouvernementale de l'énergie au Sénégal. Cependant, la nouvelle politique énergétique du gouvernement développée dans la LPDSE de 2008, met en avant trois objectifs : (i) assurer l'approvisionnement en énergie du pays en quantité suffisante, dans les meilleures conditions de qualité et de durabilité et au moindre coût, (ii) élargir l'accès des populations aux services modernes de l'énergie et (iii) réduire la vulnérabilité du pays aux aléas exogènes, notamment ceux du marché mondial du pétrole.

En ce qui concerne la stratégie, le gouvernement a retenu plusieurs axes dont « le développement et l'exploitation des potentialités énergétiques nationales, notamment dans le domaine des biocarburants et des énergies renouvelables, la diversification énergétique à travers la filière charbon minéral, le biocarburant, la biomasse, le solaire, l'éolienne, etc., pour la production d'électricité ».

Les biocarburants constituent ainsi un élément nouveau dans les politiques énergétiques et agricoles. La stratégie de l'État dans ce domaine repose sur la promotion de *Jatropha*.

## État des lieux de la culture de *Jatropha* au Sénégal

### Acteurs de la culture de *Jatropha*

Les acteurs de la culture de *Jatropha* sont répartis sur l'essentiel du territoire national (fig. 4). Ils sont constitués de l'État, de producteurs, de pépiniéristes, de transformateurs et d'institutions de recherche. Les acteurs commerciaux sont faiblement représentés du fait de l'absence de conditions de compétitivité de la filière.

#### PRODUCTEURS

Ce sont les acteurs qui assurent la production des graines. On en distingue trois types : les paysans, les associations paysannes et les entreprises industrielles. Les paysans cultivent *Jatropha* pour des objectifs variés : la délimitation des champs et leur protection contre les animaux en divagation, la vente des graines, de l'huile ou du savon fabriqué à partir de l'huile et l'utilisation de ses propriétés médicinales. Les associations paysannes plantent *Jatropha* pour la production d'huile, l'utilisation locale de cette huile pure pour la production de forces motrices et éventuellement l'électrification et enfin pour se procurer des revenus par la vente de l'huile. Certaines entreprises industrielles visent la production de biocarburant pour réduire leur forte dépendance vis-à-vis des ressources énergétiques fossiles. C'est le cas de la Société de commercialisation du ciment (Sococim) qui compte utiliser les fruits, les coques, les brindilles du *Jatropha* dans les fours pour assurer une fourniture



décentralisation portant transfert de compétences aux collectivités locales, la gestion des terres et des ressources naturelles dans les zones rurales est presque entièrement dévolue aux conseils ruraux.

#### **LES PÉPINIÉRISTES**

L'introduction de *Jatropha* dans l'espace agricole sénégalais est facilitée par la mise en place de pépinières pour la fourniture des plants. En dehors des pépinières de l'Isra, des opérateurs privés sont impliqués dans la production de plants.

#### **LES TRANSFORMATEURS**

Le secteur de la transformation des biocarburants est faiblement mis en valeur au Sénégal. Les initiatives, à l'exception de la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS) sur l'éthanol, restent embryonnaires. Il n'est pas encore noté d'industrie de transformation ; il subsiste quelques expériences de transformation artisanale, mais sans statut officiel d'unités dédiées à l'extraction d'huile de *Jatropha*.

#### **LA RECHERCHE**

La recherche sur *Jatropha* est récente au Sénégal et a démarré quasiment avec la mise en œuvre du programme national « biocarburants ». Elle est conduite par diverses structures nationales en partenariat avec des institutions sous-régionales et internationales. Dans le cadre du volet recherche du programme national « biocarburants » dont la coordination est assurée par l'Institut sénégalais de recherches agricoles, des travaux sont menés sur les techniques culturales, les modes de multiplication et les aspects socio-économiques de *Jatropha*. Avec l'appui de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'École nationale supérieure d'agriculture (Ensa) de l'université de Thiès vient de boucler un projet de recherche qui visait l'amélioration du rendement en huile des plantations de *Jatropha* par l'utilisation de méthodes de mutations induites par radiation pour générer des génotypes hautement productifs et adaptés aux conditions locales. Un autre projet porté par l'École nationale supérieure d'agriculture et qui a bénéficié de l'appui financier du ministère français des Affaires étrangères au travers du FSP (Fonds de solidarité prioritaire) Ripiecsa (Recherche interdisciplinaire et participative sur les interactions entre les écosystèmes, le climat et les sociétés d'Afrique de l'Ouest) a été exécuté au cours de la période 2008-2010 avec différents partenaires (Institut sénégalais de recherches agricoles, Institut de l'environnement et de recherches agricoles du Burkina Faso, l'université de Ouagadougou et l'Institut de recherche pour le développement). Son objectif était d'analyser la productivité de *Jatropha*, de la mettre en relation avec sa variabilité génétique, et d'évaluer ses impacts potentiels agricoles, environnementaux et économiques dans un contexte de variabilité et changement climatiques. Enfin, l'École nationale supérieure d'agriculture et la faculté d'agronomie de Gembloux (Belgique) mènent un projet de recherche centré sur l'intégration durable de *Jatropha* dans les systèmes de culture au Sénégal.

#### **Superficies emblavées**

Les objectifs du programme pour la période 2007-2012 sont d'emblaver 321 000 hectares. En 2008-2009, cet objectif n'était atteint qu'à 1,6 % (tabl. II). La même

tendance est observée sur la distribution de plants par l'Institut sénégalais de recherches agricoles sur la même période. Les évolutions n'ont guère connu d'améliorations significatives au cours de la période 2010-2012, particulièrement chez les producteurs locaux (les exploitations agricoles familiales). Les seules superficies qui semblent évoluer depuis 2008 sont celles allouées aux investisseurs étrangers et pour lesquelles les statistiques restent controversées. Le ministère des Énergies renouvelables les estime entre 10 000 et 15 000 hectares.

Tableau II  
Superficies emblavées et plants de *Jatropha* fournis au Sénégal en 2008-2009.

Régions	Superficies exprimées (ha)	Superficies plantées (ha)	Besoins en plants	Plants fournis
Louga	780	719,4	449 625	449 625
Thiès	222	222	82 000	138 750
Diourbel	6 519	1 079,6	4 074 625	683 500
Tambacounda	470	411,2	307 750	257 000
Kédougou	70	68	43 750	42 500
Fatick	845	353	528 125	220 625
Kolda/Sédhiou	650	350	406 250	225 000
Dakar	45	44,8	28 125	28 000
Fleuve	2 746	1 891	2 278 750	1 181 875
Kaffrine	160,5	154	99 375	96 250
Total	12 507,90	5 293	8 298 375	3 323 125

(Source : ISRA 2009)

La culture de *Jatropha* est considérée par les producteurs comme une activité secondaire. Par ailleurs, la mise en valeur des terres de culture demande des investissements lourds, que les producteurs locaux ne parviennent pas à prendre en charge. Seules les exploitations privées disposant des moyens substantiels ont connu une relative réussite. Les exploitations agricoles familiales se contentent pour l'essentiel de cultures de haies vives, moins exigeantes en ressources hydriques, en main-d'œuvre pour l'entretien.

## Systèmes de culture

En l'état actuel de nos connaissances, seules deux études ont été consacrées à l'analyse des systèmes de culture de *Jatropha* au Sénégal. La première a été menée par Kane (2010) dans la communauté rurale de Ourour située dans le centre bassin arachidier tandis que la seconde a été réalisée par Mbaye (2011) dans le sud bassin arachidier, plus précisément dans le département de Foundiougne.

Il ressort de ces différents travaux que la majorité des chefs d'exploitation cultivant *Jatropha* sont relativement âgés et analphabètes. Leurs exploitations sont faiblement équipées, utilisent essentiellement la main-d'œuvre familiale, associent l'élevage à l'agriculture et pratiquent la culture attelée avec comme animaux de trait les bovins, les équins et les asins. Elles ont une taille moyenne de 1 hectare contre 50 hectares chez les promoteurs privés.

Ces études ont montré aussi, qu'il existe deux méthodes de plantation de *Jatropha* selon les producteurs ; il s'agit du semis direct et de la méthode pépinière-transplantation. Cependant, cette dernière est la plus pratiquée sur le terrain. Elle est plus coûteuse que le semis direct ; mais elle permet d'avoir des plants plus vigoureux et d'obtenir de meilleurs taux de survie. Le semis direct donne des résultats décevants en raison essentiellement des attaques de nuisibles et de ravageurs sur les jeunes plants. La pépinière de pleine terre est la plus vulgarisée, car elle nécessite moins d'investissement de la part des producteurs.

La densité de plantation varie d'un producteur à un autre et cela en fonction du mode de plantation mis en place (association, culture pure, haies vives). Cependant, les écartements de plantation les plus fréquents sont : 2 m x 2 m (2 500 plants/ha), 2,5 m x 2 m (2 000 plants/ha), 2,5 m x 2,5 m (1 600 plants/ha), 3 m x 2,5 m (1 333 plants/ha), 3 x 3 (1 111 plants/ha). Concernant les modes de plantation, les plus courants restent la haie vive et la culture associée qui sont pratiquées par la majorité des producteurs. La culture pure de *Jatropha* est beaucoup plus rare. L'association est avantageuse car elle permet aux producteurs d'exploiter leurs terres aussi bien pour les cultures vivrières que pour la plantation de *Jatropha*. Également, les plantes de *Jatropha* bénéficient de l'entretien apporté aux cultures vivrières. Les spéculations les plus fréquemment associées à *Jatropha* sont par ordre décroissant : l'arachide, le mil, le sorgho, le maïs, et le sésame.

Globalement, les opérations de préparation et d'entretien de la parcelle avant et après l'implantation de *Jatropha* sont négligées et la fertilisation est très peu appliquée. *J. curcas* est plus fréquemment plantée sur des sols dont le niveau de fertilité est moyen.

En outre, une très faible proportion de producteurs (environ 6 %) pratique des traitements phytosanitaires dans leurs plantations, quoique la situation phytosanitaire de *Jatropha* dans les exploitations soit parfois préoccupante.

### **Contraintes de la culture de *Jatropha***

Malgré les multiples atouts de la culture de *Jatropha* au Sénégal, diverses contraintes pourraient entraver son intégration dans les systèmes de production agricole. Les producteurs ne maîtrisent pas encore les techniques culturales (dates d'implantation, qualité et disponibilité des semences, besoins en eau, types de sol, planification, conservation des récoltes...) permettant d'optimiser la production. Ils ne disposent pas d'informations sur la transformation et la demande (débouchés) ; or ces paramètres économiques influent beaucoup sur leur engagement à adopter cette nouvelle culture. Également, l'insuffisance des moyens financiers des ménages ruraux,

susceptibles de couvrir les dépenses inhérentes à la conduite des cultures (engrais, semences, produits phytosanitaires, protection des exploitations, irrigation, main-d'œuvre, etc.), particulièrement dans les zones sèches ou marginales (terres dégradées), réduit leurs possibilités d'améliorer les rendements et de concrétiser les revenus espérés. Les feux de brousse récurrents dans certaines zones du pays constituent une contrainte non négligeable puisqu'ils entraînent un ralentissement de la croissance des plants. La situation phytosanitaire de *Jatropha* est quelque peu préoccupante à cause de diverses attaques de nuisibles (nécrose foliaire, défoliation, termites, araignées rouges et criquets) notées sur les plantations ; ces attaques varient en fonction des zones agro-écologiques (Mbaye, 2011). La recherche sur les biocarburants au Sénégal demeure encore un des maillons faibles de la filière ; celle-ci reste fragmentaire et souffre d'un déficit de synergie entre les acteurs. En conséquence, peu de données systématisées existent sur les systèmes *Jatropha* et cela constitue un handicap majeur pour l'atteinte des objectifs que l'État s'est fixés en matière de production de biodiesel. Enfin, l'absence de décrets d'application de la loi d'orientation sur la filière des biocarburants qui rend incomplet le cadre juridique et réglementaire représente aussi un obstacle non négligeable pour la promotion des biocarburants.

## Rôles potentiels pour l'aménagement de la Grande Muraille Verte

### **Atouts de *Jatropha* comme espèce de reboisement en zone sahélienne**

*Jatropha* est une plante bien connue des populations au Sénégal et partout dans le Sahel qui l'utilisent comme haies vives mais surtout pour ses vertus thérapeutiques. Les différentes parties de *Jatropha* font l'objet de toutes sortes d'usages médicinaux (Diédhiou, 2011). Son latex est partout réputé pour cicatriser les plaies, pour ses vertus hémostatiques et pour soigner les problèmes de peau. En application externe, il sert à traiter la gale sarcoptique des moutons et des chèvres.

Ses feuilles sont utilisées pour traiter diverses maladies parmi lesquelles, la toux. Leur décoction soigne les maux de nerfs et leur cataplasme traiterait les furoncles, les rhumatismes et la lèpre. Bien que toxiques, les graines sont souvent utilisées comme purgatif/laxatif. L'huile extraite des graines est utilisée en obstétrique (par massage) après un chauffage préalable ; elle est aussi utilisée dans le traitement des maux d'articulation et de ceux des membres (Münch et Kiefer, 1986).

Les conditions agro-écologiques du Sahel se prêtent bien à la culture de *Jatropha* qui est une espèce réputée très adaptée aux conditions climatiques arides et semi-arides et peu exigeante en intrants. Ses principaux mécanismes d'adaptation au déficit

hydrique sont la réduction de la surface foliaire, la régulation stomatique, l'accroissement de l'investissement des ressources aux racines et le stockage de l'eau dans les tiges (Cissé, 2010 ; Diaz-Lopez *et al.*, 2012).

*Jatropha* peut être facilement implanté dans les écosystèmes sahéliens par semis direct de graines ou repiquage direct de boutures. Elle peut aussi être reboisée avec des plants issus de pépinière à partir de graines ou de boutures. Toutefois, la méthode pépinière de pleine terre et transplantation apparaît plus intéressante en termes de coûts/efficacité et de ce fait, pourrait être généralisée. L'utilisation de boutures est surtout recommandée dans la réalisation de haies vives.

Enfin, *Jatropha* recèle d'autres atouts pour les zones sahéliennes. L'espèce n'est pas appétée et cela préserve les plantations de la dent du bétail qui est un des facteurs d'échec du reboisement au Sahel. Il existe des accessions locales performantes utilisables pour les opérations de reboisement. En effet, Diédhiou (2011) a identifié au Sénégal, cinq accessions locales qui ont des teneurs en huile élevées et comparables à celles des accessions indiennes les plus performantes.

### **Bénéfices potentiels de l'utilisation de *Jatropha* dans la Grande Muraille Verte**

L'intégration de *Jatropha* dans les aménagements de la Grande Muraille Verte pourrait avoir des impacts positifs pour les écosystèmes et les populations locales.

Concernant les écosystèmes, il est de plus en plus établi que *Jatropha* peut jouer un rôle important dans la conservation et la régénération des sols. Ainsi, Reubens *et al.* (2011) ont montré que le système racinaire de *Jatropha* est favorable au contrôle de l'érosion hydrique et/ou éolienne. En effet, ses nombreuses ramifications latérales améliorent la cohésion du sol et ainsi, permettent de réduire fortement l'érodibilité du sol. Ruiz-Valdiviezo *et al.* (2010) ont également noté que la plantation de *Jatropha* n'inhibe pas la dynamique du carbone et de l'azote dans les sols ; elle pourrait améliorer la qualité en augmentant sa teneur en matière organique. Par ailleurs, des études récentes ont confirmé que les tourteaux de *Jatropha* peuvent être utilisés comme engrais organiques pour restaurer les sols dégradés et améliorer leur productivité (Domergue et Pirot, 2008 ; Fall, 2010). L'établissement allemand d'essais agronomiques « Landwirtschaftliche Versuchsanstalt » a classé ces tourteaux comme un engrais organique complexe (contenant NPK) et à teneur marquée en azote (Münch et Kiefer, 1986). Ils donnent des résultats positifs sur les rendements de diverses cultures (coton, riz, *Jatropha*).

Concernant les avantages de *Jatropha*, il faut souligner que cette plante peut fournir de l'énergie renouvelable permettant d'améliorer les conditions de vie des populations des zones d'introduction. En effet, moyennant des modifications mineures de moteurs, l'huile pure peut être utilisée pour fournir des forces motrices. Ce type d'usage a été testé avec succès au Mali et au Sénégal pour les moulins, les motopompes pour l'irrigation et les groupes électrogènes pour la production d'électricité. L'huile peut être transformée par transestérification en biodiesel utilisable pour le fonctionnement des moteurs diesel. Par ailleurs, les sous-produits tels que les

coques issues du décorticage des fruits et les tourteaux dérivés de l'extraction de l'huile peuvent également être utilisés pour la production respectivement d'énergie thermique et de biogaz. De ce fait, si le biocarburant de *Jatropha* est utilisé de façon judicieuse, il pourrait contribuer de façon décisive à l'intensification écologique et à la résolution du problème vital de la sécurité alimentaire (huile pure, biodiesel pour les machines agricoles). Il pourrait aussi permettre de réduire le taux de déforestation et d'améliorer le bien-être des ménages ruraux (énergie pour l'éclairage, la cuisson et les appareils ménagers). Au Sahel, l'exploitation forestière pour la production d'énergie est un des moteurs de la déforestation et de ses corollaires, la désertification et la pauvreté rurale. À titre illustratif au Sénégal, les combustibles ligneux représentent 60 % du bilan énergétique du pays et plus de 80 % de la consommation énergétique totale des ménages, et plus de 4 millions de m<sup>3</sup> de bois sont prélevés tous les ans pour satisfaire les besoins en énergies des populations (CSE/MEPN 2005).

Également, il faut noter que la vente des graines produites par les plantations ou de savon fabriqué avec l'huile de *Jatropha* pourrait procurer des revenus substantiels directs aux populations rurales. Par ailleurs, l'impact positif potentiel de *Jatropha* sur la production agricole pourrait permettre d'augmenter les revenus agricoles. Enfin, dans la mesure où la démarche de mise en œuvre du projet de la Grande Muraille Verte est participative, les activités de production et de commercialisation de plants de *Jatropha* issus de pépinières dans lesquelles les femmes sont très impliquées sont aussi une source supplémentaire de revenus.

## Conclusion

*Jatropha curcas* est une espèce qui fait partie actuellement de la flore du Sénégal et dont l'importance socio-économique n'est plus à démontrer. Les options politiques prises par beaucoup de pays sahéliens de développer sa culture à grande échelle s'inscrivent dans une stratégie d'anticipation des enjeux énergétiques futurs dont la maîtrise est une des conditions pour atteindre les Objectifs du millénaire pour le développement (OMD) et garantir un développement durable. L'intégration de cette plante dont la présence dans les systèmes agraires est devenue effective, dans les aménagements de la Grande Muraille Verte, peut avoir des impacts positifs sur les écosystèmes (conservation et régénération des sols) comme sur les populations locales (fourniture d'énergie et de revenus).

Toutefois, pour garantir un succès à une telle opération, des mesures devront être prises pour lever diverses contraintes d'ordre institutionnel, technique et socio-culturel. Il s'agira respectivement de compléter le cadre juridique et réglementaire, de renforcer la recherche-développement et de prendre en compte les attentes et le potentiel d'innovation des populations locales.



## Références bibliographiques

- Aponte CH,  
1978. Estudio de *Jatropha curcas* L.  
como recurso biotico. Diploma thesis.  
Xalapa-Enríquez. University Veracruz, Mexico.
- Cissé C  
2010. Etude de la croissance et des réponses  
à la contrainte hydrique et au stade juvénile  
de six provenances locales de *J. curcas*.  
Mémoire de Master, ENSA,  
Université de Thiès, 49 p.
- Conliffe A, Kulovesi K.  
2008. *Renewable Energy in Africa Bulletin*.  
Volume 149 Number 1. Winnipeg, Canada:  
International Institute for Sustainable  
Development (IISD). (Available from  
<http://www.iisd.ca/yimb/sdrea/html/yimbvol149num1e.html>) (Accessed on 2 August 2008).
- CSE/MEPN  
2005.- Etat de l'environnement  
au Sénégal. République du Sénégal,  
Ministère de l'Environnement  
et de la Protection de la Nature, Dakar, 19 p.
- Díaz-López L, Gimeno V, Simón I,  
Martínez V, Rodríguez-Ortega WM,  
García-Sánchez F,  
2012. *Jatropha curcas* seedlings  
show a water conservation strategy under  
drought conditions based on decreasing  
leaf growth and stomatal conductance.  
*Agricultural Water Management* 105 : 48– 56.
- Diédhiou D.  
2011. Influence des pratiques paysannes  
de gestion de la fertilité et d'entretien  
des plantations sur la croissance et la production  
de *Jatropha curcas* L. : cas du terroir  
de Ourour (Bassin Arachidier Sénégalais).  
Mémoire de Master, ENSA,  
Université de Thiès, 50 p.
- Domergue M, Pirot R  
2008. *Jatropha curcas* L.  
rapport de synthèse bibliographique.  
CIRAD, AGROgeneration, Montpellier, 118 p.
- ENDA-ENERGIE  
2005. *Rôle des énergies renouvelables  
sur le développement des activités productives  
en milieu rural ouest africain :  
le cas du Sénégal*.  
Rapport final, 50 p.
- ENEFEBO  
2007. Synthèse des enquêtes au sein des PME  
au Sénégal. *Lettre d'information* N° 1, 4 p.
- Fall N  
2010. Impact de l'utilisation des tourteaux  
de *J. curcas* sur le bio-fonctionnement  
et la diversité génétique des communautés  
microbiennes du sol.  
Mémoire de Master, Faculté des Sciences  
et Techniques, Ucad, Dakar 32 p.
- Gaye B  
2007, Les biocarburants, gage d'une révolution  
énergétique et économique au Sénégal :  
le cas du *Jatropha curcas* L.  
Mémoire de Master, ISDL, 108 p.
- Guengant J-P  
2011 Comment bénéficier du dividende  
démographique ? La démographie  
au centre des trajectoires de développement  
dans les pays de l'UEMOA.  
Analyse pays Sénégal. AFD, 55 p.
- Heller J.  
Physic nut. *Jatropha curcas* L.  
Promoting the conservation and use  
of underutilized and neglected crops.  
1. Germany. Gatersleben ;  
Italy. Rome : Institute of Plant Genetics and Crop  
Plant Research/International Plant Genetic  
Resources Institute ; 1996, 66 p.
- ISRA  
2009. Programme spécial Biocarburants.  
Dakar, MAP, 16 p.
- KANE S  
2010. Les impacts spatiaux  
et socio-économiques de la culture  
de *Jatropha curcas* L sur la dynamique  
des systèmes agraires. Mémoire de maîtrise,  
UCAD-FLSH, Dakar, 94 p.
- Mbaye B  
2011. Analyse des systèmes de culture  
et du comportement de *Jatropha curcas* L.  
en milieu paysan dans le département  
de Foundiougne. Mémoire de Master,  
ENSA, Université de Thiès, Thiès, 48 p.
- Minvielle J-P  
1999. La question énergétique au Sahel.  
Karthala, 171 p.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

Münch E, Kiefer J  
1986. Le Pourghère : *J. curcas*, Botanique,  
Ecologie, Culture, Produits de récolte,  
Filières de valorisation, réflexions économiques,  
Mémoire de fin d'études.  
Université de Hohenheim, Stuttgart, 302 p.

Reubens B, Achten WMJ,  
Maes WH, Danjon F, Aerts R,  
Poesen J, Muys B  
2011. More than biofuel? *Jatropha curcas*  
root system symmetry and potential  
for soil erosion control.  
*Journal of Arid Environments* 75 : 201-205.

Ruíz-Valdiviezo VM, Luna-Guido M, Galzy A,  
Federico Gutiérrez-Miceli FA, Dendooven L  
2010. Greenhouse gas emissions and C and N  
mineralization in soils of Chiapas (México)  
amended with leaves of *Jatropha curcas* L.  
*Applied Soil Ecology* 46 17–25.

SIE-SÉNÉGAL  
2007. Système d'Information Énergétique  
du Sénégal. Rapport 2007, Dakar, 56 p.

Youn I, Sarr J, Sall M, Kane MM  
2000. Renewable energy activities in Senegal:  
a review. *Renewable and Sustainable Energy  
Reviews* 4 (1) : 75-89.



## Partie VI

# Techniques forestières et innovations dans les opérations de reboisement en milieux arides et semi-arides



# Techniques forestières et innovations dans les opérations de reboisement

*RONALD BELLEFONTAINE*  
CIRAD, UMR AGAP, F-34398 Montpellier, France  
ronald.bellefontaine@cirad.fr

*MICHEL MALAGNOUX*  
Expert indépendant, retraité de la FAO, Division des ressources forestières

*ABOUBACAR ICHAOU*  
Phyto-écologue, Dr Ing. forestier aménagiste, Directeur DGRN/INRAN, Niamey (Niger)

## Résumé

Le projet de la Grande Muraille Verte (GMV) s'est fixé plusieurs objectifs ambitieux, dont celui de réaliser l'installation et la mise en valeur intégrée d'espèces végétales à valeur économique adaptées à la sécheresse, de systèmes de production agricoles et d'autres activités génératrices de revenus. En conséquence, dans ce chapitre, après un rapide état des lieux de 1965 à 2000 retraçant les principaux acquis et les échecs relatifs à la recherche-développement dans le domaine (agro)forestier en régions arides et semi-arides, nous insisterons sur les succès récents des douze dernières années. Il serait souhaitable que ces réussites soient assimilées par les décideurs qui géreront, dans leurs pays respectifs, le développement de systèmes de production agro-sylvo-pastoraux intégrés liés à la GMV.

Dans ce cadre, diverses recommandations sont émises à la fin de ce chapitre. Elles permettront aux responsables de s'imprégner des difficultés qui les attendent pour ériger cette GMV. Rédigé par des forestiers, écologues et agroforestiers, ce chapitre fait rapidement le point des avancées dans le domaine des arbres hors forêt, des jachères et parcs agroforestiers, de l'aménagement simplifié permettant la création de marchés ruraux de bois-énergie et la gestion décentralisée des forêts et autres espaces forestiers, de l'évolution de la lutte contre l'érosion, de la restauration de la fertilité des sols, et de la stabilisation des dunes.

Sans modernisation importante et très rapide de l'itinéraire technique de production de plants, sans amélioration du fonctionnement des pépinières, la GMV risque de se solder par des déboires, immédiats ou décalés dans le temps du fait d'une croissance

juvénile perturbée, suivie de mortalités. Des études vitales et encore très peu répandues dans la zone sahélienne devront aborder en priorité l'analyse des micro-organismes telluriques qui vivent en symbiose avec les ligneux et divers aspects liés à la domestication des espèces économiquement importantes (fruitiers, arbres fourragers, bois d'œuvre), notamment les nouveaux outils moléculaires fiables pour l'évaluation de la diversité génétique, la quantification des flux de gènes et la structuration des populations, ainsi que les itinéraires techniques les plus adaptés pour multiplier végétativement les meilleurs clones.

## Introduction

Diverses tentatives d'édification de murailles vertes existent : le barrage vert algérien qui a connu quelques succès, pas mal de déboires et des réorientations importantes, ou la grande muraille verte de Chine, gigantesque projet d'aménagement intégré associant plantations de ligneux et semis de plantes herbacées. Le concept récent de la Grande Muraille Verte (GMV) « précise qu'il s'agit de réaliser l'installation et la mise en valeur intégrée d'espèces végétales à valeur économique adaptées à la sécheresse, de bassins de rétention, de systèmes de production agricoles et d'autres activités génératrices de revenus, ainsi que des infrastructures sociales de base » (Bellefontaine *et al.*, 2011). Cette bande verte au sud du Sahara (de Dakar à Djibouti), large de 7 à 15 km, est située entre les isohyètes 100 et 400 mm, principalement en zone sahélienne.

Rares sont les chercheurs qui contestent aujourd'hui que le Sahel souffre de la dégradation des terres à la suite de l'exploitation (par des techniques non recommandées) du couvert végétal et des ressources en eau. D'aucuns contestent les méthodes utilisées, notamment pour estimer la dynamique du tapis herbacé (Hein *et al.*, 2011). Dans les zones *arides*, la végétation herbacée domine, avec très peu ou pas de ligneux, sauf dans les bas-fonds ; sa dynamique dépend d'un facteur d'efficacité d'utilisation des rares pluies, dont tiennent compte les bergers. Mais, les ligneux (arbres, arbustes, buissons) sont des éléments majeurs des écosystèmes *semi-arides et sud-sahéliens* notamment (steppes et savanes arbustives ou arborées). Ils participent pour une large part au développement et à l'autonomie des populations rurales de ces régions. Si dans certaines régions sahéliennes, le développement d'activités agro-sylvo-pastorales raisonnées et adaptées par les populations locales a permis un rétablissement progressif du couvert arboré et des végétaux annuels (Peltier *et al.*, 1994 ; Reij et Botoni, 2009 ; Masse *et al.*, 2011), il n'en va pas de même partout.

Les chercheurs et beaucoup d'ONG se sont mobilisés dès les années 1960 sur des thèmes sectoriels tels que la fixation des dunes, la dormance des graines, les dispositifs de défense et restauration des sols, les reboisements industriels puis villageois, la cartographie par interprétation de photos aériennes, etc. Certaines de ces expériences ont contribué à faire émerger depuis les années 1980 les connaissances

des pratiques et savoirs traditionnels (méconnus en général par les forestiers) et ont également permis d'affiner les techniques qui ont récemment fait leurs preuves (implication complète des populations durant tout le processus d'analyse multidisciplinaire de l'état des lieux ; stratégie d'énergie domestique ; régénération naturelle assistée ; démarrage d'activités de domestication par multiplication végétative des meilleurs clones ; gestion durable des eaux et des sols ; approche correcte de l'éclaircissement – ou dédensification – de terroirs par image à très haute résolution ; etc.). Si les nombreux usages et bénéfiques des ligneux sahéliens sont mieux connus depuis une trentaine d'années, il subsiste encore des lacunes. Elles retardent parfois la valorisation du bois et produits autres que le bois, qui permettrait de développer l'important potentiel de développement rural des zones arides et semi-arides. Nombreux sont les projets qui n'ont pas diffusé leurs résultats faute d'une base de données ou d'un site international (notamment francophone, car les rares revues francophones refusent les articles à thématiques aussi générales et au contenu trop volumineux). Dans le meilleur des cas, ces projets se contentent de publier un article de synthèse dans des revues peu accessibles, voire totalement inconnues des principaux utilisateurs.

Aujourd'hui, la fragilité des écosystèmes, la pression anthropique et la difficulté de maintenir la productivité des terres sont cependant reconnues par tous, les populations, les chercheurs et la société civile (Roose *et al.*, 2011). Deux éléments majeurs manquent encore pour parvenir à assurer la durabilité des ressources naturelles : le manque de cohésion nationale des différentes populations rurales (dû à leur isolement et pauvreté) et la valorisation-vulgarisation des expériences et connaissances antérieures sous des formes variées (émissions de vulgarisation pour les télévisions et radios locales, séminaires et congrès, diffusion par les réseaux sociaux, articles, livres).

Dans ce chapitre, bien que les régions arides et semi-arides soient des régions steppiques avec peu de ligneux, sauf dans les bas-fonds ou lits d'oueds, nous traiterons principalement de l'impact des ligneux sous toutes leurs formes (arbre, arbrisseau, buisson) sur l'écosystème et sur les ressources naturelles (eau et terre, notamment). Il est évident que la strate herbacée et le pastoralisme doivent être intégrés dans les programmes forestiers tels que la GMV. Nous établirons rapidement un état des lieux se reportant principalement aux années 1965-2000, puis nous aborderons les principaux succès récents (après 2001), encore souvent méconnus, qu'il conviendrait d'amplifier et de généraliser.

## État des lieux

### **Connaissances éparses relatives aux arbres hors forêt**

Jusqu'à la fin du xx<sup>e</sup> siècle, les préoccupations à l'égard des forêts de la planète ont occulté les ressources arborées *hors forêt* qui, par leur caractère intersectoriel et



multifonctionnel, étaient l'objet d'une approche beaucoup plus diffuse, passant par l'agroforesterie, le sylvo-pastoralisme, la foresterie urbaine et rurale. Les évaluations successives des ressources forestières mondiales (FAO, 2010) étaient jusqu'alors limitées à celle des forêts *stricto sensu* sans tenir compte des arbres et buissons situés sur les terres agricoles, urbaines, ou dans les savanes et steppes arides et semi-arides. En 1996 à Kotka, en Finlande, la consultation d'experts sur les questions d'évaluation des ressources forestières a manifesté le souci de disposer d'informations sur les *arbres hors forêt*.

On ne connaissait quasiment rien de leur contribution à l'économie rurale, au développement rural et à la qualité du cadre de vie, de leur dynamique notamment en liaison avec la disparition de superficies forestières, des modes d'appropriation de ces ressources et règles foncières. Or, l'arbre hors forêt, ressource dispersée aux fonctions multiples est bien connu des paysans. Procurant de nombreux produits et des services environnementaux, l'arbre hors forêt est le plus souvent approprié et cultivé par l'homme. Alors que les ressources forestières sont généralement connues et cartographiées, les informations et les données sur les ressources ligneuses hors forêt sont fragmentaires, dispersées, ponctuelles. Depuis toujours les arbres hors forêt font partie de la vie quotidienne des populations du globe : arbres fruitiers, des champs, des parcs, d'agrément, arbustes sauvages, futaies et bosquets de petite superficie, systèmes linéaires tels que brise-vent et haies, boqueteaux isolés. « Les *arbres hors forêt* avaient été oubliés des évaluations des ressources naturelles, négligés des statistiques, ignorés des politiques, délaissés des législations, quasiment écartés des recherches et éclipsés des discussions publiques » (Bellefontaine *et al.*, 2002). Ce n'est que depuis une quinzaine d'années qu'ils commencent à prétendre au statut de ressource à part entière (Alexandre *et al.*, 1999 ; Unesco/Cirad, 2004), car l'augmentation de la population et la demande accrue en produits ligneux et non ligneux ont fait que les décideurs et les planificateurs ont alors progressivement perçu l'ampleur des perspectives, jusque-là insoupçonnées, qu'offraient les arbres hors forêt pour l'aménagement durable des ressources naturelles et la gestion intégrée des terres forestières, agricoles, pastorales et urbaines.

### **Pression sur les ligneux et éclaircissement du couvert arboré**

Le manque de coordination et de communications relatives aux nombreuses actions forestières entreprises et la non-implication des populations ont découragé ces dernières, qui dès lors n'ont pas respecté les règlements et ont cherché à vendre le bois-énergie et les coproduits, quitte à accentuer l'exploitation des ressources forestières. Le manque de précisions, informations ou lois relatives à la destination des revenus forestiers tirés des ligneux exploités par des bûcherons allochtones dans leurs terroirs ruraux a accentué la surexploitation des ressources naturelles, car le milieu rural doit alimenter les villes en bois-énergie, charbon de bois et bois d'œuvre (Mazoyer, 1991). Source de revenus importants pour les populations, cette exploitation ligneuse se pratique généralement sans bien prendre en compte d'autres activités alternatives et génératrices de revenus. Les auroles de désertification sur plusieurs dizaines de kilomètres autour de nombreuses agglomérations sahéliennes se sont

élargies, car ces espaces en libre accès sont exploités au-delà de leurs capacités de régénération (fig. 1). L'arbre sur pied n'a que peu ou pas de valeur (Ichaou, 1995 et 2000). L'approvisionnement des villes en combustible domestique est resté jusqu'à la fin du XX<sup>e</sup> siècle souvent incontrôlé (sauf dans certaines régions du Mali, Burkina faso, Niger, etc.).



© R. Baïfornaine

Figure 1.  
Cap Vert, près de Cidade Velha : surexploitation et désertification.

De plus, certains espaces forestiers ont été convertis par l'agriculture ou l'élevage intensif. Mais, c'est principalement la densité du recouvrement forestier qui a diminué de façon inquiétante dans les régions semi-arides. La comparaison diachronique de photographies aériennes et d'images satellitaires à haute résolution (de type Ikonos) permet d'observer cet éclaircissement du couvert arboré dans l'arganeraie marocaine (Le Polain de Waroux, 2012) ou ailleurs (Hirche *et al.*, 2011). Les populations rurales se voient privées, de manière lente mais inexorable, d'espèces appréciées pour leurs vertus thérapeutiques, protectrices et nourricières.

Dans le domaine varié des ligneux sahéliens, tels que les espaces forestiers, les steppes arbustives, les brousses tigrées, les parcs agroforestiers, les forêts ripicoles, de très nombreux acteurs (étatiques et para-étatiques, autorités politiques, ONG, coopérations, organismes internationaux, commerçants, populations) interviennent depuis un demi-siècle à travers des projets et plans divers, sans une cohésion rigoureuse et une programmation stratégique. Depuis Rio 1992, tous ces acteurs se sont progressivement mis d'accord pour dire qu'il est nécessaire d'opter pour une réelle approche participative en matière de gestion des formations forestières et de l'environnement, mais dans de nombreux pays les conditions sous-jacentes pour garantir des bons

résultats par cette approche ne sont pas toujours créées et soutenues par l'État, les collectivités et les services techniques. Les intérêts à court terme des populations, qui réclament des retombées immédiates, divergent des objectifs à long terme des services forestiers. Il est vrai qu'impliquer l'ensemble des populations rurales d'un pays entier dans un seul programme est en général irréalisable, faute de moyens. C'est pourquoi, les projets (1970-1990) tentaient de créer des conditions durables et reproductibles dans certaines régions afin que petit à petit l'implication réelle et pérenne des populations des régions voisines impose une nouvelle conception de la répartition des tâches entre elles et l'État, ainsi que la modification de la législation, l'organisation de marchés et un encadrement institutionnel adéquat.

### **Jachères et parcs agroforestiers**

De nombreux travaux et projets relatifs aux jachères et aux parcs agroforestiers ont été menés et ont été présentés lors de séminaires (Piéri, 1989 ; Floret et Serpantié, 1993 ; Riedacker *et al.*, 1993 ; Bonetti et Jouve, 1999) ou de synthèses (Dupriez et De Leener, 1987 ; Cirad-Forêt, 1996 ; Boffa, 2000), car l'importance des ressources forestières (bois et produits forestiers autres que le bois) que l'on trouve dans les terroirs agricoles n'était dans les années 1970-1980 que rarement évaluée. Dans toute la zone sahélienne, du fait d'un déséquilibre entre l'offre et la demande en énergie domestique, l'aménagement des ressources forestières complémentaires telles que celles des jachères s'avère donc capital pour satisfaire l'ensemble de besoins énergétiques aussi bien des ruraux que des citoyens.

Dans le système traditionnel d'utilisation des sols en Afrique tropicale, grâce à des indicateurs biophysiques, le paysan arrivait à suivre l'évolution de la fertilité et pouvait déterminer le moment de la remise en culture de la jachère. Outre la remontée de la fertilité, la jachère joue d'autres rôles : production de bois et plantes médicinales, source de produits alimentaires et de fourrage, outils de gestion de terroir villageois. Aujourd'hui, cette pratique est largement en crise du fait de la pression démographique, de l'extension des cultures de rente et d'une certaine désorganisation dans les modes de gestion des ressources naturelles. Les durées des jachères sont fortement réduites, la remontée biologique est devenue lente et incomplète, les jachères se raréfient, changent de nature et de type d'exploitation, notamment sur le plan forestier.

Pour ce qui concerne les arbres des terroirs cultivés, au Niger par exemple, des investigations plus poussées sur les formations forestières des terroirs villageois cultivés ont été réalisées lors de l'élaboration du Schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Niamey (SDAN) en 1991. S'inspirant de résultats des enquêtes filières des années 1986 et 1990, le SDAN a permis de mettre en évidence que les terroirs agricoles contribuaient dans la production du bois-énergie commercialisé pour un pourcentage non négligeable (Mazoyer, 1991). L'intérêt des formations ligneuses des terroirs villageois cultivés a été démontré dès 1993 au Niger (Ichaou, 1992, 1993) devant la montée de la demande en bois de la ville de Niamey et l'insuffisance de l'offre en bois-énergie des diverses formations forestières classées ou non. En effet, devant la situation de certaines zones agricoles très peuplées

où les jachères et *a fortiori* les forêts avaient disparu, le manque de bois de feu s'est fait cruellement sentir (régions de Zinder, Maradi, Magaria). Il a donc été nécessaire de chercher des solutions pour gérer les arbres épars des champs représentant les dernières ressources en bois de feu (Ichaou, 1995). Les ressources ligneuses des terroirs cultivés autour de Niamey sont loin d'être négligeables (proche de cinq stères par houppier pour les grands arbres), encore faut-il ne pas abattre les arbres jusqu'aux derniers, mais utiliser des techniques plus souples et convenables comme l'émondage et l'élagage partiel, sans étêtage ou éhoupage afin de ne pas mettre en péril la survie de l'arbre (Bellefontaine *et al.*, 2002). Dans ce cadre, le Projet Énergie II (PE II) mit alors en place les premiers aménagements villageois simplifiés (Peltier *et al.*, 1994 ; Boureima, 2002, 2003) prenant en compte les arbres épars des champs et forêts résiduelles. Par la suite, le Projet Énergie domestique qui a succédé au PE II, devant l'importance démontrée des ressources ligneuses des terroirs villageois, a lancé des expériences d'aménagement simplifié dans diverses zones écologiques du Niger (d'Herbès *et al.*, 1997 ; Bellefontaine, 1999).

La transformation d'une forêt en parc agroforestier permet souvent de changer le statut juridique de l'espace et des ressources qu'il contient. La transformation agroforestière sert toujours à redéfinir la base des relations entre les diverses catégories d'acteurs au sujet de l'accès et du contrôle de ressources et d'espaces vitaux. « À l'échelon local, ce processus d'appropriation permet de transformer un espace au départ collectif en terre à statut d'appropriation plus privée, sous le contrôle individuel d'un village, un propriétaire ou un clan. Dans les relations avec l'administration nationale, l'appropriation permet aux paysans de mieux revendiquer des droits coutumiers de propriété sur des espaces traditionnellement intégrés au territoire villageois, mais en litige. Enfin, elle permet de créer des patrimoines fonciers transmissibles aux générations futures et constitue donc un acte fondateur essentiel des familles, des lignages ou des clans » (Bellefontaine *et al.*, 2002).

Cette participation accrue des populations rurales aux projets de gestion des ressources forestières a contribué dans certains pays à asseoir la toile de fond effective à la décentralisation administrative effective. En impliquant ou en transférant une partie du contrôle des forêts naturelles aux communautés locales, les nouvelles politiques forestières des pays sahéliens introduisaient en effet un changement institutionnel profond. Un tel transfert constituait un premier pas vers une gestion décentralisée des ressources, annonçant déjà le processus de décentralisation politique qui est effectif actuellement dans certains pays. Dans ce contexte, les rôles et responsabilités des services de l'environnement étaient donc censés évoluer au fur et à mesure que les nouvelles politiques sont mises en œuvre, d'une gestion effective vers l'encadrement et le conseil technique.

### **Pépinières obsolètes et graines de faible qualité**

Des techniques obsolètes (sachets en polyéthylène avec ou sans fond, mottes pré-contraintes à base d'argile, etc.) sont encore utilisées de nos jours, alors qu'elles devraient être définitivement abandonnées. L'analyse de la mortalité et de la faible croissance de reboisements en Europe a été réalisée dans les années 1975-1995

(Franclet et Najar, 1978 ; Guehl *et al.*, 1989 ; Lemaire *et al.*, 1989 ; Argillier *et al.*, 1991). Les mortalités, immédiates ou après quelques années, étaient trop importantes et la croissance nettement insuffisante du fait de malformations racinaires telles que chignons, baionnettes, crosses, etc. Très vite, les soupçons se sont tournés vers les sachets qui entraînent presque toujours la formation de chignons dont il est impossible de se débarrasser. Ces racines, même coupées, ne se développeront pas correctement et le plant est condamné : il s'agit d'un caractère acquis. Les déformations des racines (fig. 2) perturbent pendant de longues années le fonctionnement physiologique et le bon développement racinaire, nécessaires à l'exploitation des ressources hydriques et minérales du site de plantation (Riedacker, 1978 ; Falconnet *et al.*, 1990).



© R. Bellefontaine

Figure 2.  
Conteneur totalement inadapté induisant un chignon racinaire.

En ce qui concerne les graines, les forestiers sahéliens ont accumulé dans les années 1970-1980 une masse considérable d'informations relatives à la reproduction sexuée, notamment la physiologie des semences : germination, modes de prétraitement et conservation (Somé et de Kam, 1993 ; Bellefontaine, 1993 ; Olesen, 1996 ; Ouedraogo et Boffa, 1999). Avant les années 1970 au Sahel, aucun peuplement semencier n'avait été délimité. Les graines étaient récoltées sur une base génétique excessivement étroite (en général sur un arbre fructifère, parfois sur plusieurs si la demande était importante). De plus, il n'y avait généralement pas de sélection des arbres-mères. En ce qui concerne la phénologie des espèces ligneuses des climats sahéliens et sahélo-soudanais, les observations étaient rares, éparses, incomplètes et peu ou non diffusées. Ces études permettaient au mieux d'élaborer un canevas « relativement précis » pour la fructification, plus rarement pour la floraison et la période optimale de fécondation.

## Déficit chronique des régénérations naturelles

L'ensemencement naturel des ligneux est perturbé par les conditions climatiques, le surpâturage, parfois les feux de brousse, ce qui dans le meilleur des cas induit une croissance aléatoire ou lente. Les graines, lorsqu'elles parviennent à germer et à s'installer définitivement, contribuent à maintenir une variabilité génétique importante. De très nombreux témoignages de forestiers des zones sèches signalent que même si une espèce a une régénération sexuée prolifique, les germinations en tapis dru peuvent s'éclaircir, puis s'estomper au fil de l'installation de la saison sèche et des passages répétés des troupeaux, pour n'aboutir après une année entière qu'à de rarissimes plantules rescapées dans des buissons épineux (Ouedraogo *et al.*, 2006). Ainsi dans les zones sahéliennes du Burkina Faso, « nombreuses sont les espèces qui ont vu leur population diminuer, ou qui ont disparu. Elles sont confinées dans les bas-fonds et concurrencent les cultures maraîchères. Quelques espèces des zones sahélo-sahariennes (*Acacia tortilis*, *A. ehrenbergiana*, *Leptadenia pyrotechnica*) sont en accroissement numérique, mais la dynamique de la flore et de la végétation ligneuses est caractérisée par une régression de la densité ligneuse de 11,4 % entre 1994 et 2004 » (Ganaba, 2008). Dans la partie orientale du Burkina Faso, « la régénération naturelle est très faible ou quasiment réduite à une levée plus ou moins abondante de cohortes de plantules qui ne vivent que la période d'une saison humide ... ; ... la tendance à la régression apparaît pour huit espèces : *Bombax costatum*, *Bosweilla dalzielii*, *Burkea africana*, *Pterocarpus lucens*, *P. erinaceus*, qui présentent des structures de populations dégradées ou vieillissantes. *P. lucens* subit une importante mortalité. Quant à *Azelia africana*, *Dalbergia melanoxylon* et *Sterculia setigera*, la faible vitalité de leurs sujets et/ou leurs difficultés de régénération évoquent des signes de régression naturelle » (Ouedraogo, 2006). Autre exemple, une étude de la régénération d'*Acacia senegal* en Mauritanie a montré que celle-ci pouvait s'établir d'autant mieux que les puits étaient ensablés, rendant la zone inaccessible aux troupeaux (Malagnoux et Jeanjean, 1989) !

Remarquons que lors de la réalisation d'inventaires en forêt, il est souvent très difficile de distinguer un semis d'un plant issu de propagation végétative, ce qui biaise les inventaires où toutes les formes de régénération sont regroupées, de manière erronée, sous le vocable *semis naturels* ou *recru*. Or pour certaines espèces et dans certains sites, l'origine des arbres peut être plus végétative que sexuée (Hasnaoui, 1991 ; Catinot, 1994 ; Bellefontaine, 2005). Dans les régions semi-arides et arides, ou lors d'une succession d'années très sèches, la régénération de certaines espèces est principalement assurée par la multiplication végétative naturelle (rejets, drageons, marcottes) prenant le relais de l'ensemencement naturel (Bationo *et al.*, 2001 ; Ouedraogo, 2006 ; Ky-Dembélé *et al.*, 2007 ; Meunier *et al.*, 2008 ; Bognounou *et al.*, 2010 ; Morin *et al.*, 2010). Ce qui induirait à la longue une augmentation de la consanguinité, car tous les arbres proches d'un arbre-mère étant génotypiquement identiques, des risques de dégénérescence et de pertes de productivité et/ou de résistance à diverses attaques, pourraient se produire, surtout si après quelques années de sécheresse, un cycle humide permet à nouveau la germination et l'installation de graines (provenant alors du croisement d'arbres spatialement différents, mais génotypiquement identiques).



## Plantations encore trop rares et réutilisation des eaux usées

La régénération artificielle des espèces forestières se fait notamment par voie de semis ou par plantation. Ceci requiert l'obtention de semences, l'installation de pépinières, de nombreux achats (conteneurs, terreaux, engrais, etc.) et l'entretien régulier des plantules pendant plusieurs mois. La préparation des espaces réservés aux plantations de grandes superficies est également très onéreuse. Les taux de réussite des plantations industrielles ou des *bois de village* des années 1980 n'ont jamais été importants, car la propriété du bois et des coproduits n'était pas clairement établie. Les populations locales ne les ont pas acceptées. La divagation durant huit à neuf mois par an des animaux domestiques et le surpâturage intense, très localisé sur des espaces réduits pendant la saison des cultures, ont entraîné des pertes conséquentes. Ces plantations ont détruit des massifs naturels (assimilés comme *peu productifs* de manière erronée par des économistes étrangers) ; elles étaient réalisées souvent à base d'espèces exotiques (parfois envahissantes – Tassin *et al.*, 2009). Elles se sont avérées coûteuses, peu productives et ont été souvent dégradées par le feu, les troupeaux et les coupes illégales. À partir de la fin des années 1980, les financements et subventions se sont portés sur l'aménagement des forêts naturelles existantes et non plus en faveur de plantations, non souhaitées par les populations rurales.

Dans certaines zones touristiques, à l'écart du centre des villes, il y a eu aussi quelques tentatives de plantations d'espèces à croissance rapide en zones arides (Koweït, Tunisie, Égypte), mais en utilisant les eaux partiellement traitées des stations d'épuration voisines (Bartolone et Arlosoroff, 1987 ; Braatz et Kandiah, 1996 ; Bellefontaine, 1998). En 1996, le plan de recyclage des eaux usées de la ville de Mexico était de 90 000 ha et 7 à 8 pour cent du volume total des eaux usées urbaines produites dans l'État de Californie est recyclé pour l'irrigation des espaces verts (Braatz et Kandiah, 1996). Si la croissance est spectaculaire et le retour bien réel d'une biosphère en deux ou trois années (fig. 3) dans ces terres autrefois désertiques, il reste néanmoins beaucoup de problèmes à régler.



© R. Bellefontaine

**Figure 3.**  
En Égypte, à Luxor,  
le couvert arboré se reforme en 22 mois,  
le sol est ombragé,  
la microfauve et la faune se développent.  
Plantation d'*Acacia saligna*  
et *Eucalyptus camaldulensis* hybridés.

## **Premières études relatives à l'efficacité des micro-auxiliaires symbiotiques**

Peu développées dans les années 1970 en Afrique, les recherches relatives aux relations de symbioses bactériennes ou fongiques des ligneux au niveau de leurs racines se sont quelque peu multipliées dans les années 1990-2000, mais bien plus pour les zones humides (*Eucalyptus*, *Acacia*, *Casuarina*, etc.) que pour les zones semi-arides. Les forestiers africains, notamment ceux qui œuvrent en zones sahéliennes, sont encore bien trop peu sensibilisés au fait que la durabilité des écosystèmes repose notamment sur les symbioses (en complément avec d'autres facteurs). Ces associations mutualistes entre micro-organismes telluriques et arbres sont aujourd'hui encore bien trop peu étudiées et testées dans les régions arides et semi-arides, alors qu'elles sont capitales. En effet, elles permettent la fixation d'azote atmosphérique, facilitent la biodisponibilité en phosphore et fer (Hinsinger, 2001), augmentent la résistance aux stress hydriques en particulier (Duponnois *et al.*, 2007) et ont un impact sur la vitesse de croissance juvénile et la santé des plantules mises en terre.

Le recouvrement arboré, buissonnant et herbacé d'un sol doit être maintenu. Si les deux premières strates sont surexploitées, la troisième est souvent condamnée à plus ou moins longue échéance. Beaucoup de plantes du sous-étage sont des plantes « nurses » qui abritent des champignons mycorhiziens. Ainsi, par exemple, lorsque les plantes compagnes (herbacées et buissonnantes) disparaissent, le couvert arboré se réduit, la qualité des sols s'altère, les principaux cycles biogéochimiques des sols sont irrémédiablement perturbés (Duponnois *et al.*, 2010).

## **Lutte contre l'érosion et l'ensablement**

La restauration des terrains de montagne entreprise en France dès le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle est devenue une politique officielle du pays par la loi de 1882 qui introduit la création de périmètres domaniaux de restauration des terrains en montagne (RTM) sur les zones les plus sensibles dans le cadre de la protection contre les mouvements de terrain et les avalanches. Ces derniers sont dus à la surpopulation de ces zones, un surpâturage et une déforestation massive (bois de chauffage par les populations locales et besoins croissants du pays en bois d'œuvre). L'action RTM introduit la correction des torrents par une double composante de génie civil (ouvrages de maçonnerie, seuils, banquettes, gabions, fascines) et de génie biologique (reboisements et végétalisation des berges et lits des torrents). Le défrichement de la Grande Prairie aux États-Unis, suivi de l'apparition de nuages de poussière obscurcissant le ciel de régions entières dans les années 1930 (*Dust Bowl*), a permis de développer des techniques de Conservation de l'eau et des sols (CES). Les techniques de Défense et restauration des sols (DRS) ont pris un réel essor en Méditerranée à partir des années 1950.

Malheureusement, ces techniques n'avaient que de faibles effets sur la productivité des sols cultivés et n'intéressaient pas directement les paysans. Il a fallu attendre que le concept de la Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et des sols (GCES) soit développé à la fin des années 1980 pour que les paysans se le réapproprient. La



CGES partait du principe que ces derniers n'étaient prêts à investir leur temps de travail que sur les bonnes terres où il existe des risques potentiels de dégradation et non sur les terres déjà érodées et très appauvries (Roose et De Noni, 1998).

Bien qu'associés communément aux zones arides et notamment aux déserts, l'ensablement des terres et la formation de dunes sont des phénomènes constatés dans de nombreux pays, sur tous les continents. Mais c'est bien dans les zones semi-arides principalement que ces phénomènes prennent de l'ampleur en raison de la fragilité du couvert végétal et des sols, surtout pendant une période de sécheresses annuelles consécutives. De tout temps, des techniques traditionnelles de lutte préventive ou curative ont permis aux populations concernées de contrer ponctuellement ces phénomènes. Le Danemark est un des premiers pays à avoir tenté de stabiliser les dunes qui menaçaient les terres agricoles et les habitations. Les premières réglementations connues dans ce pays remontent à 1539, mais c'est vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle qu'un grand nombre de plantations forestières ont été réalisées sur dunes. En France, les premiers travaux significatifs de fixation des dunes des Landes de Gascogne ont commencé en 1713 et se sont poursuivis tout au long du XVIII<sup>e</sup> siècle. Mais c'est au début du XIX<sup>e</sup> siècle que ces travaux ont été menés à grande échelle. En 1857, une loi « d'assainissement et de mise en culture des Landes de Gascogne » impose à toutes les communes de cette région de boiser leur territoire.

Dans les zones sahéliennes, la lutte contre l'érosion éolienne et les déplacements des dunes a débuté en Mauritanie, Sénégal, Niger dans les années 1970.

## Succès récents

### Gestion conservatoire des arbres hors forêt

Depuis une dizaine d'années, les connaissances sur la dynamique et la productivité des *arbres hors forêt* se sont multipliées. Leur définition, encadrée selon les critères pré-établis de la FAO, a permis cependant de mieux se les représenter (Bellefontaine *et al.*, 2002 ; Pain-Orcet et Bellefontaine, 2004). Cette ressource dont l'importance a été démontrée se présente selon des dispositifs de fonctions et de structures diverses : isolés, en boqueteaux, en parcs agroforestiers ou en systèmes linéaires. Pour ces derniers, quatre types principaux sont notés : la haie, le brise-vent, l'alignement d'arbres (le long des routes et autres voies de communications) et la ripisylve, frange étroite, voire discontinue d'arbres le long de cours d'eau permanents, temporaires ou même phréatiques (forêts alluviales, forêts-galeries qui ont été défrichées, drainées et mises en culture) (Bellefontaine *et al.*, 2002). Les études pour les domestiquer ou pour augmenter leur productivité sont en cours pour les espèces les plus importantes économiquement parlant (*Butyrospermum parkii*, *Argania spinosa*, etc.). Les techniques agroforestières se généralisent petit à petit (Pouliot *et al.*, 2011 ; Nklo *et al.*, 2010 ; Osman *et al.*, 2011) et permettront de mieux tirer profit de l'interaction arbres/herbes/animaux.

Des privés ont ainsi planté récemment des banques fourragères à base de *Pterocarpus lucens*, *P. erinaceus*, *Khaya senegalensis* particulièrement rentables pendant les périodes de soudure. Le feuillage vert fait l'objet d'un commerce pour nourrir le petit bétail citadin. Ailleurs, ce sont les fruits (*Prosopis juliflora*, *Faidherbia albida*, etc.) qui sont commercialisés. Ce système d'affouragement en vert relativement intensif est courant dans certaines régions d'Afrique, ce qui pose indirectement le problème de la gestion appropriée et durable de ces arbres souvent mutilés. Des recherches sur l'émondage, l'élagage, l'écrassage et l'étêtage (fig. 4) doivent être entreprises en fonction de l'âge, de la saison et du climat (Bellefontaine *et al.*, 2002).



Figure 4.  
Jeune *Bombax costatum* au Burkina Faso,  
écimé pour la récolte des fleurs utiles dans l'alimentation.

Depuis peu, les espèces les plus intéressantes et vitales pour l'alimentation humaine (baobabs, nérés, karités, mais aussi l'arganier au nord du Sahara) font l'objet de projets particuliers (Gouwakinnou *et al.*, 2009 ; Bellefontaine, 2010 ; Raebild *et al.*, 2011 ; Noubissié-Tchiagam *et al.*, 2011). La labellisation des coproduits récoltés sur les ligneux à usages multiples peut être porteuse de bénéfices, mais la traçabilité des produits de terroir est soumise à diverses contraintes. « Les labels, indications géographiques et l'écocertification sont des réponses possibles aux nombreux problèmes rencontrés par les populations rurales. Or, c'est dans ces zones rurales que le niveau de vie est le plus étroitement dépendant de l'abondance des ressources naturelles. L'arbre hors forêt est un enjeu crucial dans les relations entre les villes et les campagnes. Les efforts de restauration de terres dégradées et de re-densification

arborée par la régénération naturelle assistée, notamment doivent être encouragés par l'État et les organisations internationales. Cependant, c'est à la motivation des acteurs économiques, agriculteurs, éleveurs, élus locaux, et autres partenaires, qu'il faut faire appel pour insuffler une réelle dynamique de gestion des arbres débouchant sur une véritable rentabilisation de la ressource et de ses coproduits » (Bellefontaine *et al.*, 2002).

### **Aménagement communautaire des forêts et des parcs**

Le Niger, le Mali et le Cirad notamment ont mis en œuvre la Stratégie d'énergie domestique (SED), qui a apporté une contribution assez significative en matière d'aménagement des forêts naturelles au Sahel (Peltier *et al.*, 1994 ; d'Herbès *et al.*, 1997). La démarche adoptée se base sur quatre objectifs principaux : la valorisation commerciale de l'arbre, la responsabilisation et la satisfaction des besoins (en bois-énergie et en coproduits divers) des populations rurales et urbaines, la création d'emplois et de revenus, la gestion durable des ressources ligneuses. Cette démarche est avant tout une approche économique, sociétale et environnementale et reste la seule valable pour des pays aux moyens limités avec comme principes de base :

- l'élaboration, l'adaptation et l'application d'une nouvelle fiscalité sur le bois plus conforme. Elle favorise la responsabilisation effective des communautés locales : perception de la taxe par les représentants des villageois, répartition de cette taxe entre le Trésor national, les budgets des collectivités locales et les communautés rurales. Cette fiscalité constitue aussi et en priorité un véritable instrument de lutte contre la désertification : taxation différentielle selon les distances et les zones d'approvisionnement, et selon l'impact négatif des systèmes d'exploitation sur la dégradation des ressources forestières. Le fait majeur de cette fiscalité est qu'elle permet aux populations riveraines de délivrer elles-mêmes les coupons de transport du bois. Elles s'approprient les ressources des terroirs sylvo-pastoraux et réduisent les fraudes (Peltier *et al.*, 2009 ; Rives *et al.*, 2010) ;
- l'organisation et la responsabilisation des populations pour la mise en place de marchés ruraux de bois-énergie (MRBE) en vue de la prise en charge de la gestion de leurs ressources forestières ; ils limitent au maximum une implication trop opérationnelle de l'administration forestière. Il s'agit là d'un pas important vers la décentralisation ;
- l'organisation de la filière-bois, de la profession d'exploitant de bois, de conditions favorables pour un développement économique et social au niveau local ;
- la définition des techniques d'aménagement pour les formations forestières sahéliennes, négociées et s'adaptant aux exigences des populations riveraines. Pour chaque village riverain, la délimitation du massif forestier est un préalable incontournable.

Avec la création de structures villageoises relativement performantes, l'arbre acquiert une valeur monétaire importante aux yeux des populations riveraines et peut servir notamment pour des actions de restauration. C'est le principe de la Stratégie d'énergie domestique (SED). Cette fiscalité relative au bois-énergie constitue un atout essentiel pour favoriser la généralisation des aménagements sylvo-pastoraux. Les nouveaux textes législatifs favorisent et avantagent les producteurs ruraux

organisés en MRBE. Les propriétaires de forêts plantées (privées) et les groupements de producteurs sont exemptés de la taxe, celle-ci étant assise sur le transport et le commerce du bois en ville. Les zones aménagées sont protégées par auto-contrôle des riverains : les acteurs économiques étrangers ou extérieurs n'ont plus accès aux ressources et les commerçants-transporteurs sont orientés vers les zones les plus favorables, par l'intermédiaire de la taxation différentielle (d'Herbès *et al.*, 1997).

Dans bien des pays de la région sahélienne, la forêt était considérée comme un bien en libre accès ; les bûcherons des villes pouvaient exploiter les forêts à leur guise, sans effort financier important, car l'arbre n'avait quasi aucune valeur (Peltier *et al.*, 1994 et 2009). Par l'intermédiaire des marchés ruraux, l'injection régulière de masses monétaires, généralement considérables pour des paysans non fortunés, induit un autofinancement local des actions de développement. Les MRBE ont permis d'injecter des millions de francs CFA au titre des ventes de bois dans les localités concernées, qui sont à la base de la création d'emplois, la réduction de l'exode des jeunes, le développement d'autres activités à caractère économique et social : réparation d'ouvrages hydrauliques, construction d'écoles, mosquées, et autres bâtiments sociaux, banques de céréales, achat d'intrants, etc.

Malgré une première approche techniciste (inventaire et parcellaire, travaux de régénération coûteux, etc.), la SED a notamment apporté des réformes significatives sur les plans de l'organisation paysanne (marché rural) et de la fiscalité sur le bois, ainsi qu'en matière de financement (réduction au minimum nécessaire des subventions) et de la libéralisation des prix du bois au niveau des structures villageoises de gestion (Peltier *et al.*, 2009).

Les perspectives de développement d'aménagements sylvo-pastoraux sur ces nouvelles bases sont nombreuses et résolument optimistes, à condition d'adopter et d'encourager :

- une approche souple, en prenant en compte également les savoir-faire locaux ;
- la vulgarisation de techniques de régénération les plus efficaces et facilement maîtrisables, notamment sur le plan des coûts ;
- la promotion de structures villageoises de gestion très légères (MRBE) ;
- la formation des membres des structures villageoises de gestion ;
- la mise en place d'un cadre institutionnel adéquat, plus incitatif sur le plan fiscal et foncier ;
- l'intensification de l'agriculture et de l'élevage, afin de réduire leur pression sur les ressources forestières (Bellefontaine *et al.*, 2002).

Le combat contre la dégradation des espaces forestiers du Sahel ne peut être gagné que par une gestion rationnelle des forêts naturelles par les communautés rurales elles-mêmes (aménagements sylvo-pastoraux villageois participatifs), ce qui n'exclut pas certaines formes de reboisements et de régénération assistée protégée. La dynamique de l'évolution du couvert arboré n'est pas en sens unique. Ainsi, dans la région de Maradi (Niger), l'analyse diachronique de 1972 à 2005 montre une avancée du front agricole qui se traduit par une diminution des superficies forestières de 20 %, mais parallèlement une extension (9 %) des zones de cultures sous parc arboré (Mahamane *et al.*, 2007).

Une meilleure connaissance des filières de produits forestiers ligneux et non ligneux et la nécessité d'une politique globale à *long terme*, intégrant des éléments techniques, économiques, écologiques, environnementaux et sociaux, doivent être la toile de fond pour appuyer les volontés politiques affichées par les États et les collectivités locales dans ce domaine. À cet effet, les perspectives de développement de l'utilisation des ressources naturelles renouvelables visent à retrouver une péréquation équitable entre les différentes sources d'énergie, en revalorisant le bois qui offre un enjeu déterminant pour la préservation de l'environnement, pour le maintien et la création d'emplois en milieu rural, pour l'adaptation de l'agriculture et l'aménagement de l'espace rural. Les éléments d'analyse sur ce sujet mettent en évidence les efforts consentis en termes de contribution dans la gestion forestière locale de bien de pays sahéliens (FAO, 2009). Ils s'intègrent ainsi dans un cadre fédérateur de toutes les stratégies sectorielles existantes ou en cours d'élaboration dans ces pays notamment dans ces deux axes, à savoir :

- prévenir les risques de dégradation des forêts villageoises, améliorer la sécurité alimentaire et gérer durablement les ressources naturelles renouvelables pour sécuriser les conditions de vie des populations ;
- renforcer les capacités des institutions publiques de développement forestier et des organisations rurales pour améliorer la gestion du secteur rural de manière générale. L'aménagement participatif des forêts et des espaces forestiers partagés avec les pasteurs transhumants doit se baser sur trois piliers essentiels pour impliquer les populations et les divers acteurs économiques :
  - un accès libre à l'information ;
  - la participation depuis le début aux processus décisionnels ;
  - l'accès à la justice équitable en cas de conflits.

### **Création de pépinières modernes**

L'introduction de nouvelles techniques culturales permet de produire des plants sains, bien proportionnés qui, en plantations ne nécessiteront pas de regarnis (mortalité très faible) et se développeront ensuite vigoureusement. Rares sont les pays des zones semi-arides usant d'un itinéraire technique convenable et disposant de pépinières modernes, outil fondamental dans le cadre du projet de Grande Muraille Verte !

De nos jours, on sait que pour produire des plants dotés d'un enracinement de qualité (disposant de plusieurs racines pivotantes et d'un réseau étoffé de racines latérales) et pour assurer un taux ultérieur appréciable de survie et de croissance dans les reboisements, l'impact des godets rigides rainurés (ou de contenants alvéolés-rainurés) placés à 30 cm au minimum du sol (*hors sol*), l'optimisation des substrats standards et reproductibles et la fertilisation sont déterminants.

En Europe depuis les années 1980-1990, l'usage de substrats à base organique (tourbes, écorces compostées) s'est généralisé, associé à des itinéraires techniques spéciaux pour le pilotage de l'irrigation et de la fertilisation et à l'organisation des sites de production (Argillier *et al.*, 1991). Un substrat inapproprié, tels les substrats à base exclusive de terre, d'humus et de sable, montre des problèmes de densité racinaire et de cohérence de la motte et d'interface sol-motte lors de la plantation

(Le Bouler *et al.*, 2012). Les jeunes plantules doivent former un système racinaire vigoureux et équilibré. À défaut, tout effort de reboisement sera compromis ou sa croissance nettement réduite. Pour cela, six éléments sont indissociables, notamment les trois premiers :

- la formation de techniciens supérieurs-pépiniéristes et chefs de culture, car le pilotage humain ne peut plus être confié à un ouvrier formé au fil des ans. Le dosage et la régularité dans le temps des apports en eau (en évitant le lessivage malheureusement omniprésent en zones sahéliennes) et en fertilisants sont essentiels. Notons au passage que le mélange initial d'engrais classiques au substrat induit une hétérogénéité de croissance des plantules et que les engrais à libération lente montrent une libération aléatoire dans les climats chauds. Les politiques publiques de reboisements ambitieuses et la Grande Muraille Verte exigent cet investissement crucial à prévoir à très court terme, à savoir la formation durant trois mois de techniciens supérieurs-pépiniéristes ;
- les sachets avec ou sans fond, obsolètes, doivent impérativement être abandonnés. Les godets individuels *anti-chignon*, les plaques rigides alvéolées, les conteneurs multiples doivent porter des rainures trapézoïdales en relief sur leurs parois intérieures, de façon à guider les racines vers le bas. Ces godets et conteneurs n'ont pas de fond ou un fond grillagé à mailles larges, car remplis d'un substrat, ils seront ensuite disposés *hors sol*, c'est-à-dire placés sur un support à au moins 15-30 cm du sol. Après quelques semaines, les racines qui auront atteint le fond sont exposées à l'air sec ambiant et leurs extrémités se nécrosent, mais dans les godets, elles développent de multiples bourgeons racinaires. Ce système *hors sol* favorise la formation d'un maximum de racines (Lamond *et al.*, 1983 ; Bellefontaine *et al.*, 2012a) qui permettront une reprise immédiate et un excellent développement ultérieur du système racinaire (fig. 5). Les godets et conteneurs seront traités avec précaution en pépinière et sur le chantier de plantation, puis remisés à l'abri des UV pour être conservés au moins dix ans ;



- un substrat cohérent et adapté localement doit être réalisé avec les matériaux locaux disponibles. Rappelons qu'un substrat inadapté annule tout autre progrès, notamment l'utilisation de godets modernes *hors sol*. À lui seul, le substrat conditionne la qualité physiologique du plant (Le Bouler *et al.*, 2012). Pour obtenir un substrat d'excellente qualité, il doit nécessairement toujours être constitué de deux composants : un « aérateur » chimiquement neutre, léger et résistant au compactage et un « rétenteur-relargueur » d'eau et de sels minéraux stable car il doit assurer à la fois et en permanence une disponibilité en air et en eau élevée et durable, un stockage et un relargage régulier et facile d'eau et d'éléments nutritifs. De plus, il doit être léger et constituer une motte cohérente facile à planter. L'aérateur peut provenir d'écorces (de pins, par exemple) compostées, de fibres végétales diverses, de matériaux de synthèse (perlite, par exemple) à faible densité spécifique. Le rétenteur-relargueur fait appel à de la tourbe (la fibre de coco convient aussi, mais il faut faire attention à la provenance, le produit pouvant présenter un taux de salinité important) ou à un compost stabilisé. La durée et autres conditions de compostage sont importantes à déterminer localement. La porosité de l'ensemble doit être égale ou supérieure à 80 %, soit une forte disponibilité en eau, tout en assurant une aération maximale. Un mélange d'un volume de tourbe blonde à longues fibres et d'un volume d'écorce de pin compostée de 5-15 mm (pin maritime, de préférence) permet d'atteindre cet objectif, à ajuster en fonction des conditions locales (P. Brahic 2011, comm. pers.) ;

- la nutrition revêt bien entendu un aspect capital ; il faut l'étudier localement en fonction de la pluviométrie et de la qualité de l'eau et avec des substrats normalisés et stabilisés reproductibles dans le temps. L'ajout d'engrais à libération retardée donne de bons résultats dans des conditions très contrôlées. Leur vitesse de libération est dépendante de deux facteurs : l'humidité du milieu et la température. Si on peut contrôler très facilement l'humidité en gérant finement les irrigations, en extérieur, la température sera bien entendu plus difficilement contrôlable. Certains engrais prévus pour une libération sur 8/9 mois semblent présenter un pic de libération massif vers 3/4 mois avec pour conséquence des brûlures, voire des nécroses sur les jeunes racines. La majeure partie des éléments nutritifs ne sera pas absorbée (P. Brahic 2011, comm. pers.). Si les irrigations sont excessives ou mal contrôlées, le résultat sera pire, car les plants ne pourront pas absorber les nutriments, surtout si le système racinaire n'est pas suffisamment développé. Une solution (dans certains pays) est la ferti-irrigation raisonnée, qui donne de très bons résultats si le chef de culture est bien formé et motivé, car le régime hydrique est la clé de voûte de tout le système. Son contrôle doit être le plus fin possible (par simple pesée, automatisée à faible coût, de plusieurs godets ou caisses de plants « témoins » bien réparties sur toute l'aire de la pépinière). Ce système peut être automatisé en fonction du degré d'hygrométrie variable, avec alarme sonore ou téléphonique en cas de stress. La ferti-irrigation permet d'apporter aux plants simultanément des quantités standards d'eau et de fertilisants en fonction des conditions climatiques locales. Toute panne du système de ferti-irrigation est vite catastrophique si on ne se repose que sur l'automatisme (Le Bouler *et al.*, 2012). Le chef de culture doit absolument assurer une surveillance continue du dispositif automatisé, y compris durant les congés. Dans ce cas, l'économie d'eau sera importante et de plus, on réalisera une économie due à



une moindre utilisation des engrais. L'état physiologique des plants sera meilleur, tout en protégeant l'environnement (nappe phréatique) ;

- les associations symbiotiques (bactéries et/ou champignons) : en forêt, le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par l'arbre et en échange à cause de l'augmentation du volume de terre prospecté par ses hyphes, il favorise la nutrition minérale (azote ; phosphore par la production de divers enzymes extracellulaires capables de mobiliser du phosphore) et l'absorption d'eau. Cette synergie est à étudier pour chaque type de sols. Cet aspect sera abordé ci-après ;
- la plantation et son suivi : sur le chantier de reboisement, les plants ne doivent être extraits du godet que très délicatement à l'instant même de la plantation, afin de réduire au maximum les risques de dessèchement du substrat et de délitement des mottes. Il convient de former les ouvriers pour extraire la motte humide sans endommager le système racinaire. Il faut ensuite prévoir, si nécessaire, le démariage très précoce des plantules (s'il y a plusieurs graines par fruit), un à trois arrosages pendant la première saison sèche, la fertilisation, l'élagage de branches basses et la taille de formation pour maximaliser la production fruitière, l'entretien de l'impluvium un à deux mois avant la fin de la saison des pluies pendant la première année, le manchon protecteur anti-rongeurs (Defaa *et al.* 2012).

### **Régénérations (naturelle et assistée) et implication des populations**

Le terme régénération a deux sens : d'une part, c'est le renouvellement *naturel* d'un peuplement forestier par voie de semences ou de rejets ou le renouvellement *artificiel* d'un peuplement forestier par semis ou par plantation (manuelle ou mécanique). La reproduction est la production d'individus par un ou plusieurs individus initiaux avec intervention de phénomènes qui relèvent de la sexualité. La multiplication végétative (très improprement appelée reproduction asexuée) est un mode de régénération d'un végétal par multiplication sans intervention de la sexualité, à partir de certains de ses tissus ou organes [rejets de souche, drageons issus de racines superficielles, boutures – provenant de fragments de racines ou d'axes aériens –, enracinement d'axes aériens (marcottage aérien) ou en contact avec le sol (marcottage naturel terrestre), mais aussi à partir de bourgeons détachés de l'individu porteur, ou de rhizomes émis par des tiges souterraines] (Bellefontaine, 2005). La multiplication produit des individus génétiquement identiques à la plante-mère, formant un clone.

La reproduction sexuée croisée est fondamentale, car elle assure la variabilité génétique. La faculté germinative dépend des conditions de récolte, de conservation et des conditions expérimentales, y compris les prétraitements appliqués avant, pendant ou après la conservation des semences. Or aujourd'hui en Afrique, si les conditions d'essais et le processus de conservation sont en général de mieux en mieux détaillés, il n'en va pas de même pour les conditions de récolte, de dépulpage, de décorticage, de séchage, encore trop rarement précisées. Toutes les conditions retraçant l'historique des lots doivent être mieux connues, car on constate souvent une importante variabilité entre les lots de semences, due notamment à la dormance,



qui dépend des conditions post-récoltes (chocs, échauffement, séchage, etc.), de la maturité des fruits et du génotype vraisemblablement. Dans ce cas, une graine, bien que placée dans les conditions favorables à la germination, est inapte à germer. Les phénomènes de dormance peuvent induire une faible faculté germinative, voire nulle, si rien n'a été fait pour lever la dormance. Il est donc parfois nécessaire de prétraiter les graines pour obtenir une germination soutenue, homogène, rapide. Ce cas de figure est fréquent, principalement dans les zones à longue saison sèche, où toutes les conditions optimales de germination (humidité, température, oxygène, lumière) ne sont pas présentes simultanément. Les prétraitements ne font pas germer les graines, mais ils les rendent capables de germer ultérieurement quand toutes les conditions requises sont réunies. Un prétraitement, c'est, par définition, le (ou les) traitement(s) réalisé(s) avant, pendant ou après la conservation, qui permet(tent) l'élimination de la dormance par traitements mécaniques, chimiques, physiques, physiologiques ou biologiques (isolés ou associés) (Bellefontaine, 1993). Le prétraitement peut être de durée très différente pour une même espèce, d'un lot à l'autre et même d'un semencier à l'autre. Il est économiquement peu rentable d'améliorer la capacité de germination pour les dormances légères et pour les espèces qui se régénèrent de manière pléthorique. Les prétraitements doivent avant tout être appliqués principalement aux lots précieux ainsi qu'aux graines montrant une dormance profonde qui, de plus, ont été conservées dans de bonnes conditions. Ainsi, un lot de graines d'*Azadirachta indica* a montré des pourcentages de germination supérieurs à 47 % après 8<sup>1/2</sup> années (Roederer *et al.*, 1990 ; Bellefontaine, 1992). L'essentiel pour optimiser les prétraitements, c'est d'adopter des solutions pratiques aisément généralisables, donc simples, économiques, sans danger pour des personnes peu instruites. Les centres nationaux de semences forestières doivent conserver la maîtrise des prétraitements quand ils sont dangereux. Le prétraitement à l'acide sulfurique concentré doit être réalisé par l'unité centrale, généralement mieux équipée (notamment pour le recyclage de l'acide). D'une manière générale, il convient de préconiser les traitements peu dangereux et peu onéreux, même si leur efficacité est légèrement moindre que la scarification à l'acide (Somé et de Kam, 1993).

Après un prétraitement à l'acide, les spécialistes préconisent généralement de laisser tremper les graines dans de l'eau durant 12 à 24 heures. Si pour certaines espèces, cela n'induit aucune perte, par contre pour d'autres telles que *Acacia senegal*, la capacité de germination est fortement réduite (Danthu *et al.*, 1992). La durée de trempage dans l'eau doit être étudiée avec soin pour chaque espèce, qu'il y ait eu prétraitement ou non. Pour les amandes nues d'*Azadirachta indica*, un trempage prolongé est nocif (Bellefontaine et Audinet, 1993). En Afrique, de 1970 à nos jours, les connaissances relatives aux graines des régions semi-arides (Burkina Faso, Sénégal, Kenya, Malawi, Afrique du Sud, Zambie, Tanzanie, etc.) se sont régulièrement accrues (Somé et de Kam, 1993 ; Olesen, 1996 ; Ouedraogo et Boffa, 1999).

Des graines de bonne qualité sont indispensables pour mener à bien les projets de régénération naturelle assistée (RNA). Ceux-ci peuvent se concevoir de deux manières soit comme au Niger dans les régions de Maradi et d'Aguié par implication réelle des populations locales (Larwanou *et al.*, 2006 ; Reij et Botoni, 2009 ; Reij,

2009), soit dans des périmètres protégés (par exemple, au Burkina l'action menée par *newTree*). Pour densifier le couvert arboré au Burkina Faso là où coexistent une exploitation intensive et une régénération naturelle très faible, l'ONG *newTree* a lancé des projets de restauration du couvert végétal. Les partenaires signent un contrat et des procès-verbaux d'accords fonciers-documents incluant les droits coutumiers et les droits administratifs sont établis pour chaque site. Une haie vive est plantée à l'intérieur de l'espace clôturé. Par la suite, des plans de gestion sont élaborés avec les partenaires selon leurs besoins afin de permettre une exploitation durable des surfaces restaurées. L'intégration des femmes dans les prises de décision en matière de gestion des sites mis en défens représente une étape très importante, pour ne pas dire décisive, dans le processus. Fin 2007, sur 225 ha de terres dégradées, plus de 135 000 arbres et arbustes ont été dénombrés (Mme Kaguembèga, comm. pers. 2011). De plus, les mises en défens ont permis de conserver des espèces devenues rares tant au nord qu'au centre : c'est le cas de *Boscia angustifolia*, *B. senegalensis*, *Maerua angolensis*, *M. crassifolia*, *Salvadora persica*, *Boswellia dalzielii*. Le bois-énergie et des coproduits tels que du fourrage, des pailles pour les toitures, des produits pour la médecine traditionnelle, etc. permettent de diversifier et augmenter leurs revenus. Ce projet démontre que la dégradation forestière n'est pas irréversible et que la mise en défens acceptée et respectée par tous les partenaires peut avoir un impact favorable sur la dynamique paysagère.

La principale difficulté de la RNA est de faire coexister les pâturages forestiers accessibles à tous les agro-éleveurs et pasteurs transhumants. Ce droit de pâturage fait partie des droits d'usages coutumiers reconnus aux communautés rurales. Dans les parcours *normalement* exploités par les pasteurs, l'arbre est considéré comme une ressource communautaire au même titre que l'herbe. Suivant les saisons, les éleveurs font usage de la strate herbacée en saison humide, la strate arbustive est mise à profit au milieu de la saison sèche et la strate arborée en fin de saison sèche. Dans les zones semi-arides, le surpâturage *répété* provoque une régression de la végétation ligneuse lorsque le nombre de têtes de bétail est trop important et l'espace réduit. La résilience naturelle des écosystèmes sahéliens favorise parfois une régénération de certaines espèces feuillues soit par dissémination par semence, soit par voie végétative. L'éleveur nomade n'est généralement pas le grand responsable de la destruction des espaces arborés, sauf en cas de sécheresses trop fréquentes dans le temps. Les bergers savent jouer sur les complémentarités des végétations dans le choix des parcours faisant paître le troupeau dans des écosystèmes aux espèces fourragères diversifiées, mettant à profit leur expérience et leurs observations du milieu (Bellefontaine *et al.*, 2002). L'agriculteur, spécialement le migrant, est généralement beaucoup plus agressif, car il extirpe ou brûle les souches et élimine les semis et drageons qui repoussent.

Le niveau de connaissances relatives à l'amélioration de la RNA et à la biologie de la reproduction est encore très variable selon les espèces et les pays (phénologie, modes et distances de dissémination du pollen et des graines, conditions de conservation, prétraitement, inventaire et cartographie des peuplements semenciers, variabilité génétique, étude de facteurs favorisant la multiplication végétative, conditions optimales de domestication, respect de la capacité de charge, études sur

le comportement des éleveurs en fonction des saisons, étude des techniques de gestion des cultures de ligneux fourragers, impact des émondages, élagages, étêtages et tailles en parapluie sur la survie des espèces, etc. Ce niveau de connaissances doit être amélioré, car environ 70 % des 5,2 milliards d'ha de terres arides et semi-arides *utilisées pour l'agriculture* sont dégradées et à risque de désertification et 6 % *du couvert forestier* de la planète (soit à peu près 230 millions d'ha) sont situés dans des zones arides. Le changement climatique entraînera principalement une baisse de productivité (agriculture, parcours, forêts). D'ici 2020, la FAO prévoit que 135 millions de réfugiés pour cause environnementale (dont 60 millions en Afrique subsaharienne) quitteront leurs terres à cause de la désertification (Malagnoux *et al.*, 2007). Les disponibilités d'eau sont avec le climat et la qualité des sols les principaux facteurs qui limitent la distribution naturelle des arbres. Avant de planter, il est extrêmement important si l'on ne veut pas encore dégrader un peu plus les ressources naturelles d'évaluer le bilan hydrique, *et son évolution*, lors de la durée de vie du peuplement planté.

Il suffit d'une volonté politique nette pour favoriser une évolution lente et positive. Ainsi en 1961, l'aire protégée de 305 ha d'Abéché au Tchad ne supportait que quelques acacias. Entouré d'une clôture et surveillé avec attention, sans qu'aucun plant ne fut mis en place, en dix ans tout le sol était recouvert de végétation et après 45 ans de protection pratiquement ininterrompue, on distingue sur les images-satellites la zone protégée des terres environnantes (Malagnoux *et al.*, 2007).

### **Domestication et multiplication végétative à très faible coût**

Du domaine sub-guinéen au Sahel, la forêt dense sèche cède la place à la forêt claire, puis à la savane plus ou moins arborée et à la steppe plus rarement arbustive. En ce qui concerne la reproduction des ligneux, du sud au nord, la reproduction sexuée se substitue progressivement à la multiplication végétative (Catinot, 1994) : d'une régénération dominante par graine, on passe à une régénération presque exclusivement par rejet de souche, par drageon (de racines) ou par marcotte terrestre (de branches dominées). Dans les domaines sahélien ou soudanien, les modes de régénération varient en fonction du climat, des espèces et des stations (dunes, bas de pente, etc.). Le drageon est une tige naissant sur une racine déjà établie, que la racine soit dans ou hors du sol, connectée à la souche ou non. Il convient de ne pas confondre le drageon (qui naît sur une racine) avec un rhizome qui est une structure caulinaire (tige) avec des nœuds et des entre-nœuds (Bellefontaine, 2005). Les drageons ont un accroissement aérien juvénile plus rapide que les semis (Meunier *et al.*, 2006). Cet avantage permettrait d'écourter la durée de mise en défens des jeunes plants ainsi produits et de réduire les frais de surveillance des troupeaux.

Le drageonnage de *Bombax costatum* peut être stimulé par des blessures effectuées sur les racines au début de la saison des pluies au Burkina Faso. Le nombre de drageons par arbre varie de 1 à 74, certains drageonnent plus que les autres. Dans les zones où le kapokier est présent, le manque de graines n'est donc plus un facteur limitant pour mener à bien sa régénération : la conservation *in situ* de l'espèce et son

rajeunissement sont possibles grâce à cette méthode de multiplication végétative, mais celle-ci n'assure pas à long terme le maintien de la diversité génétique (Belem *et al.*, 2008b). Le plus intéressant est l'aptitude qu'auraient les drageons de certaines espèces à s'affranchir de la racine-mère pour produire rapidement leur propre réseau racinaire. Peu d'espèces ont été étudiées à ce niveau : c'est le cas avec *Q. ilex* et *Ailanthus glandulosa* dans les régions méditerranéennes (Bellefontaine, 2005) et *Detarium microcarpum* en Afrique de l'Ouest (Bationo *et al.*, 2001), où l'affranchissement se produit naturellement par dégénérescence de l'axe-mère. L'induction (par blessure de racines) ne requiert aucune technologie sophistiquée et peut être rapidement vulgarisée auprès des paysans, car non seulement elle est aisée à mener sur le terrain, mais en outre, son coût est très nettement inférieur au prix des plantations classiques. De plus, les espèces qui drageonnent peuvent également être multipliées végétativement par bouture de segments racinaires, réalisée sur *D. microcarpum* au Burkina Faso (Ky Dembélé *et al.*, 2011), sur *Q. suber* en Tunisie (Nsibi, 2005 ; Nsibi *et al.*, 2003) et sur une dizaine d'espèces en Ouganda (Meunier *et al.*, 2008).

Le savoir-faire traditionnel basé sur l'aptitude à drageonner de *Balanites aegyptiaca* permet l'établissement de haies vives : les arbres sont plantés à grand écartement sur la ligne où doit être installée la haie. Celle-ci peut aussi être établie à partir d'arbres préexistants. Il est ensuite procédé à un arrosage répétitif et directionnel, en partant du pied de l'arbre dans les directions de la future haie, afin de provoquer l'apparition de racines dans ces directions. Les drageons apparaîtront ensuite naturellement selon ces lignes (Meimine Ould Salek, comm. pers. 2006 ; Bellefontaine et Malagnoux, 2008). Mais au Nord-Cameroun, en dehors des facteurs génétiques, physiologiques et environnementaux qui peuvent influencer la réussite du marcottage aérien ou du drageonnage, *S. birrea* et *D. mespiliformis* semblent nettement mieux prédisposées à l'induction du drageonnage que *B. aegyptiaca*, plus apte au marcottage aérien (Noubissié-Tchiagam *et al.*, 2011).

Les marcottes terrestres se forment souvent après recouvrement de branches basses par des sédiments apportés par l'eau d'averses brutales. Ce fait a été remarqué par divers auteurs au Niger et au Burkina Faso (Ichaou 2000 ; Karim, 2001 ; Bationo *et al.*, 2005). Le marcottage aérien, quant à lui, est une méthode très peu onéreuse qui ne demande qu'une formation d'une demi-journée et qui permet de domestiquer certains clones remarquables sélectionnés par les populations (Meunier *et al.*, 2006, 2008 ; Morin *et al.*, 2010). La mobilisation et la multiplication végétative d'arganiers (*Argania spinosa*) remarquables et âgés (120 à 400 ans) sont possibles *ex situ*, dans un parc à clones (fig. 6) par marcottage aérien (Bellefontaine *et al.*, 2012b).

Les techniques de multiplication (à faibles coûts) ouvrent la voie dans les pays en développement à la domestication des espèces économiquement importantes, notamment de nombreux fruitiers (Gouwakinnou *et al.*, 2009 ; Noubissié-Tchiagam *et al.*, 2011 ; Raebild *et al.*, 2011). Les ressources génétiques forestières sont la source essentielle de richesses à protéger, puis à exploiter par la sélection, pour permettre d'améliorer les aptitudes des arbres plus préservés par les populations rurales et pour les domestiquer (Sotelo Montes *et al.*, 2010 ; Tchoundjeu *et al.*, 2010 ; Jensen *et al.*, 2011). Comprendre l'origine de ces formes adoptées et vraisemblablement



© R. Bellefontaine



© R. Bellefontaine

Figure 6.

*Marcotte aérienne d'arganier avec racines adventives apparentes dans un substrat de sphaigne.*

*Cette marcotte est ensuite rempotée pour servir de pied-mère produisant des ramets herbacés à bouturer sous nébulisation.*

blement préservées (voire cultivées ?), mettre en place des bases de données sur leur polymorphisme et approcher finement la caractérisation par les méthodes récentes de phénotypage sera la prochaine étape (Bellefontaine, 2010).

### **Densification du couvert arboré, réutilisation des eaux usées**

Dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales (FAO, 2010), les chiffres officiels font état d'une diminution constante entre 1990 et 2010. La dégradation de ces espaces forestiers ne peut être estimée par le seul critère de la superficie totale couverte, mais doit faire intervenir la densité (Le Polain de Warou, 2012). L'implication des populations rurales en ce qui concerne la gestion des périmètres plantés, voire même la gestion du patrimoine forestier appartenant à l'État, est encore souvent très faible. Or la durabilité des activités sylvo-pastorales rentables dans l'espace forestier est une nécessité absolue pour les régions semi-arides.

La réussite effective des plantations, et donc respectée par les éleveurs, passe par une mise en défens très courte (réduite à quelques années), mais à condition de bien définir les droits ultérieurs des populations (notamment pour la récolte et la vente de coproduits autres que le bois). Pour atteindre ce but, l'obtention de plants sélectionnés ayant une croissance juvénile très rapide et dotés d'un enracinement puissant (élevés hors sol en conteneurs rainurés) est indispensable (Defaa *et al.*, 2011 ; Le Boulc *et al.*, 2012).

La grande variabilité génétique de nombreuses espèces agro-forestières laisse entrevoir des possibilités d'amélioration très importantes qui pourront être mobilisées par diverses techniques de multiplication. Mais les grands chantiers de plantation ne sont plus financés dans les régions semi-arides depuis plus de 30 ans. Plusieurs blocages ont été cités ci-dessus (modernisation des pépinières, implication réelle des populations, etc.). De nombreux acteurs souhaitent accroître la protection et la



diversification du matériel génétique forestier en conservant les espèces locales fruitières ou alimentaires existantes (Ouedraogo et Boffa, 1997 ; Ouedraogo, 2006 ; Belem *et al.*, 2008a ; Raebild *et al.*, 2011).

À défaut de rares plantations sur de grandes superficies (Conedera *et al.*, 2011 ; Defaa *et al.*, 2011), les seules réalisations en zones semi-arides sont actuellement liées aux projets de régénération assistée dont il a été question ci-avant (Malagnoux, 2008) ou de plantations irriguées avec des eaux usées traitées (Braatz et Kandiah, 1996) provenant des stations d'épuration de grandes villes, notamment en plein désert égyptien (fig. 7) près d'Edfu, Qéna et Luxor (Bellefontaine, 1998).



© R. Bellefontaine

Figure 7.

Égypte (Luxor) : *Eucalyptus camaldulensis* fortement hybridés alimentés par des eaux usées domestiques avec irrigation tous les trois jours, plantés il y a 22 mois.

### Efficacité des micro-auxiliaires symbiotiques

Dans le paragraphe « Création de pépinières modernes », cet aspect a déjà été partiellement abordé. Avant de planter, spécialement sur des terres érodées et pauvres, une prospection de la microflore sur toute la superficie à reboiser devrait être systématiquement effectuée par les forestiers, car l'absence ou la présence de cette microflore aura un impact très important sur l'utilisation des réserves hydriques et minérales disponibles (1 m de racine correspond à 1 000 m de filaments mycéliens qui explorent ainsi un volume de sol nettement supérieur à ce que la racine réalise). Cette caractéristique interagit directement sur le taux de reprise, la croissance juvénile, le recyclage des brindilles et feuilles tombées au sol. Ces bénéfices varient en fonction de l'environnement (impact moindre sur sol fertile ; concurrence avec des symbiotes locaux) et vraisemblablement du génotype des partenaires.

Depuis une dizaine d'années dans les zones semi-arides, quelques expériences (Duponnois *et al.*, 2005, 2007, 2010), encore trop rares, ont prouvé que l'efficacité des micro-auxiliaires symbiotiques dépend principalement :

- du potentiel mycorhizien indigène (existant dans le sol) des plantes accompagnatrices (herbacées, arbustives ou arborées) ;
- de la fertilité chimique du sol (spécialement pour les carences en phosphore assimilable) ;
- et des familles (légumineuses avec nodules bactériens fixateurs d'azote atmosphérique, plantes actino-rhiziennes telles que les *Casuarina*, plantes à mycorhizes à vésicules et arbuscules, soit 95 % des quelque 260 000 plantes vasculaires, plantes vasculaires à ectomycorhizes (3 à 5 %) qui sont principalement des dicotylédones). La plupart des sols tropicaux souffrent d'une carence en phosphore (Duponnois *et al.*, 2010).

Les grandes sécheresses, les fronts pionniers agricoles et l'installation de ranches agissent négativement sur la densité de ligneux à l'hectare. Lorsque le recouvrement arboré a totalement disparu, très souvent le sous-bois est à son tour surexploité et l'érosion agit rapidement, laissant un sol carencé, difficile à réhabiliter (Brunel *et al.*, 2007). Pour éviter des restaurations lourdes avec utilisation d'engins coûteux, excavations, apports de terre et/ou d'amendements organiques, deux méthodes bien moins onéreuses sont préconisées et devraient être diffusées à très large échelle :

- soit la mycorhization contrôlée par inoculation en pépinière d'une ou plusieurs souches mycorhiziennes ubiquistes et à large spectre vis-à-vis de leur arbre-hôte pour un caractère donné, sélectionnées lors d'essais préalables,
- soit en conservant un maximum de ligneux et le sous-étage et en le multipliant par marcottage terrestre ou bouturage de segments racinaires (Nsibi *et al.*, 2003 ; Bellefontaine, 2005 ; Belem *et al.*, 2008 ; Ky Dembélé *et al.*, 2010) ou encore en introduisant, à côté et en même temps que les arbres à planter, des plantes *facilitatrices* (encore appelées *nurses* ou plantes hautement mycotrophes). Ce système de « coplantation » s'est révélé efficace au Maroc en associant *Lavandula multifolia* au *Cupressus atlantica* (Duponnois *et al.*, 2011).

Non réfléchi, la mycorhization contrôlée présente le risque de polluer génétiquement un sol avec une souche non désirée. Cependant, les résultats acquis semblent prouver que ce risque est faible au vu des avantages procurés. Des essais au Sénégal (Duponnois *et al.*, 2005, 2007) et au Maroc ont prouvé son efficacité. *Acacia holosericea* associé à des champignons ectomycorhiziens, du genre *Pisolithus* et *Sleroderma*, montre en milieu contrôlé (serre) une croissance juvénile bien supérieure aux *A. holosericea* non inoculés. Transférés dans deux sites, les plants mycorhizés ont une mortalité de 3 % (pour 19 % pour les témoins) et la production ligneuse des plants mycorhizés était estimée après 18 mois à 18,4 tha<sup>-1</sup> (pour seulement 3,2 tha<sup>-1</sup> pour le témoin), soit un coefficient multiplicateur de 5,75 (Duponnois *et al.*, 2010). Au Maroc, une année après la plantation de *Cupressus atlantica*, la mortalité cumulée des plants mycorhizés était de 15 % alors que pour les témoins non inoculés, elle était de 38 % (Duponnois *et al.*, 2011).

## Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et des sols (GCES)

Le principe de base de la GCES repose sur l'idée que la réussite d'un aménagement antiérosif ne peut être durable sans la participation paysanne depuis la conception du projet et sans l'intégration des contraintes socio-économiques et du raisonnement paysan dans la démarche scientifique. Les paysans n'acceptent un surcroît de travail que s'ils remarquent une amélioration de la productivité (Roose et de Noni, 1998). Il avait été constaté auparavant que les techniques mécaniques et biologiques seules ou associées n'entraînaient que très rarement une augmentation de la production végétale. Pour restaurer la productivité d'une parcelle, il faut non seulement conserver les eaux de surface en réduisant le ruissellement ou le concentrant sur les points de production, mais aussi accumuler du sol pour stocker l'eau d'infiltration disponible et pour fournir aux plantes cultivées les nutriments nécessaires (Lal *et al.*, 2011). Des techniques coutumières ont été documentées depuis quelques années, notamment le *zai* et le *djengo* au Burkina Faso (Masse *et al.*, 2011), dans lesquels, après la récolte, des espèces ligneuses se régénèrent souvent dans les mini-cuvettes fertilisées.

En milieux chauds même semi-arides, il est possible d'accélérer l'altération de certaines roches et, dans certaines conditions, de restaurer la capacité de production de sols suffisamment profonds mais dégradés par l'érosion et d'améliorer la biodiversité. Six règles doivent être respectées :

- prévoir une gestion adéquate des eaux de surface (cordons de pierres, haies vives, paillis, *zai*, cuvettes, etc.) ;
- recréer la macroporosité par un travail profond, au moins sur la ligne de plantation, et stabiliser la structure du sol en enfouissant des matières organiques ou des carbonates de chaux) ;
- revitaliser l'horizon de surface par l'apport de matières organiques humifiées (compost, fumier, litière, légumineuses rampantes) ;
- corriger le pH du sol ( $8 < \text{pH} > 5$ ) pour supprimer la toxicité aluminique sur les sols très acides (cendres, résidus divers, paillage) sans restreindre la solubilité des oligo-éléments sur les sols alcalins ;
- nourrir les plantes en rendant le stock de nutriments assimilables (matières organiques, purin, feu, litières) et compléter les besoins des plantes par des apports minéraux raisonnés ;
- choisir des plantes adaptées localement aux besoins des utilisateurs et aux conditions écologiques de la zone. Cet investissement en travail et en fumure organique et minérale n'est acceptable que si l'amélioration des revenus est sensible et les conditions socio-économiques favorables (Roose *et al.*, 2011). L'investissement indispensable pour restaurer le sol (aménagement antiérosif, fumure organique et minérale, travail, semences améliorées, soins phytosanitaires) ne sera accepté que si les contraintes foncières sont levées et si les bénéfices le justifient. La recherche dans ces domaines doit se baser sur une connaissance plus approfondie des savoirs locaux (Zougmore *et al.*, 2004 ; Sawadogo *et al.*, 2008).



À l'introduction d'espèces exotiques, les populations rurales préfèrent la reproduction ou la multiplication végétative d'espèces locales, après la restauration des sols. Ces populations souhaitent alors une domestication des meilleurs clones qu'ils ont repérés au fil du temps, notamment pour les arbres fruitiers sauvages. Si des *espèces exotiques* graminéennes, fourragères, fruitières ou forestières sont préconisées, leur introduction doit être dûment réfléchie (Tassin *et al.*, 2009). Une large diversité génétique locale est souvent préférable à celle des graines d'origine exotique à base génétique souvent très étroite. À défaut de graines disponibles, des techniques de propagation végétative à très faible coût (marcottage terrestre, induction du drageonnage) ou à coût très peu élevé (marcottage aérien, bouturage de tiges ou de segments de racines) sont à préconiser à condition de sélectionner un nombre élevé de têtes de clone.

Depuis plusieurs décennies grâce à la mise au point de nouvelles techniques, les États et l'aide internationale ont mis en œuvre à plus grande échelle des programmes de lutte contre l'ensablement, des techniques de stabilisation des dunes et de gestion GCES (Berte *et al.*, 2010 ; Malagnoux, 2011). La fixation à long terme des sables mobiles implique, lorsque cela est possible, la mise en place et le maintien d'un couvert végétal pérenne (Ichaou et Guibert, 2009). De nombreuses villes sahéniennes et soudano-sahéniennes ont été dotées de ceintures vertes comme par exemple, Nouakchott en Mauritanie. Cependant, « il a été fréquemment constaté que des dunes, autrefois fixées grâce aux efforts des populations locales, des gouvernements et de l'aide internationale, étaient à nouveau mobiles, suite à la dégradation et à la disparition du couvert végétal qui les protégeait, en raison de l'absence d'une véritable gestion à long terme de ces espaces » (Malagnoux, 2011).

## Conclusions et recommandations techniques et scientifiques

Diverses actions devront systématiquement accompagner ce gigantesque effort de plantation et d'aménagement du paysage que constitue la Grande Muraille Verte.

À *court terme*, il serait inconcevable de ne pas :

- améliorer la production qualitative de plants forestiers viables (qualité des graines et des clones ; substrats et conteneurs adaptés pour éviter des mortalités excessives et une croissance insignifiante ; fertilisation et irrigation raisonnées des pépinières ; intégration des symbiotes locaux) ;
- vulgariser les techniques de régénération les plus efficaces, facilement maîtrisables (techniquement et financièrement) et rentables (régénération naturelle assistée ; multiplication végétative à faible coût) ;
- éloigner dans la mesure du possible toute forme d'agriculture sur tous les sites menacés par l'érosion (berges, sols érodés à pentes moyennes, dunes, plateaux) ;

- restaurer les terrains marginaux par GCES (fig. 8) en utilisant des techniques forestières respectueuses de l'équilibre des écosystèmes et en orientant les programmes de recherche forestière vers une plus grande maîtrise des essences locales ;

- maintenir la plus large base génétique possible, au vu des connaissances encore très fragmentaires relatives aux espèces locales ;

- établir un plan d'aménagement du terroir tenant compte de la vocation des espaces forestiers, de la capacité de charge, tout en garantissant la satisfaction des besoins immédiats et futurs des populations ;

- intégrer tous les intervenants à toutes les phases de discussion des projets (identification, conception, exécution, évaluation, suivi, accès à l'information, voire à la justice) ;

- analyser les conditions existantes afin de ne pas répéter les erreurs passées (échec de certaines actions de développement forestier et réticences des populations ; priorité du facteur humain ; identification des groupes d'acteurs économiques et de leur organisation ; intégration des savoir-faire et connaissances traditionnelles des populations riveraines ; identification des conflits potentiels ; identification des divers types d'éleveurs ; étude fine de la transhumance et de déplacements encadrés des troupeaux ; gestion de l'hydraulique pastorale ; suivi de l'état des parcours et des effectifs de bétail au jour le jour par télédétection à faible résolution (Ichaou, 2004) ;

- accentuer l'effort de formation des personnels pour un partenariat effectif entre les divers acteurs et réduire le manque d'échanges entre cadres forestiers de conception, chercheurs, techniciens de terrain, ONG (bourses de formation ou de recyclage : conseils aux producteurs forestiers, suivi technique des opérations forestières, « négociation patrimoniale » pour une réappropriation des formations ligneuses riveraines ; etc.) ;

- favoriser tous les transferts de connaissances (sous diverses formes) adaptées au contexte local.



© H. Belfortaine

Figure 8.  
Cap Vert, route de Praia à Tarrafal  
(altitude = 320 m).  
Préparation d'une plantation en 1994  
avec banquettes.

À *moyen terme*, la recherche-développement devra permettre d'obtenir des résultats valables relatifs :

- à l'association entre ligneux et symbiontes mycorrhiziens et bactériens en lien avec la capacité de résilience des formations forestières ;
- au régime optimal de coupes (taillis fureté et coupes sélectives, rotation, hauteur et époques optimales [au point de vue physiologique] de coupe, dépressages, type d'élagage, etc.) ;
- à la capacité de charge des zones sylvo-pastorales et à la charge animale réelle à diverses saisons ;
- au potentiel de multiplication végétative et à faible coût des principales espèces forestières ;
- au fonctionnement biologique et hydrique des formations forestières à gérer.

D'un point de vue organisationnel, législatif et économique, des modifications seront discutées et mises sur pied, notamment pour :

- accorder à l'arbre sur pied une valeur différente de celle qui lui est attribuée quand cette ressource est en accès libre ;
- élaborer des législations foncières appropriées pour garantir la participation effective de tous les acteurs locaux à l'aménagement intégré du terroir et au développement forestier régional ;
- mettre en place un cadre institutionnel adéquat sur les plans fiscal et foncier, allant dans le sens d'une véritable décentralisation, en vue de renforcer les capacités locales de gestion des ressources, de planification et de maîtrise du développement ;
- accorder des titres de jouissance avec cahier des charges précis afin d'inciter les structures locales de gestion à mettre effectivement en valeur les formations forestières aménagées, à se réappropriier certaines forêts, à promouvoir des structures villageoises de gestion très légères, comme les marchés ruraux de bois de feu, à renforcer la formation des membres des structures villageoises de gestion, ainsi que des femmes (Ichaou, 2004) ;
- restaurer un climat de confiance entre les producteurs locaux (divers coproduits forestiers) et les forestiers revalorisés par leurs nouvelles fonctions de conseillers.

## Références

Alexandre D.Y., Lescure J.P., Bied-Charreton M., Fotsing J.M. 1999 - *Contribution à l'état des connaissances sur les arbres hors forêt (TOF)*. Orléans, France, IRD, 185 p.

Argillier C., Falconnet G., Gruez J. 1991 - *Production de plants forestiers – Guide technique du forestier méditerranéen français*. Aix-en-Provence, France, 40 p.

Bartolone C.R., Arlosoroff S. 1987 - Reuse of pond effluent in developing countries. *Water sciences and technology*, 19, 12, 289-297.

Bationo B.A., Ouedraogo S.J., Guinko S. 2001 - Stratégies de régénération naturelle de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. dans la forêt classée de Nazinon (Burkina Faso). *Fruits*, 56, 4, 271-285.

Bationo B.A., Karim S., Bellefontaine R., Saadou M., Guinko S., Ichaou A.  
2005 - Le marcottage par couchage et buttage de la partie apicale des branches, technique économique de régénération de certains ligneux tropicaux. Sécheresse 3<sup>E</sup>, [http://www.secheresse.info/article.php3?id\\_article=2342](http://www.secheresse.info/article.php3?id_article=2342)

Belem B., Smith Olsen C., Theilade I., Bellefontaine R., Guinko S., Mette Lykke A., Diallo A., Boussim J.I.  
2008a - Identification des arbres hors forêt préférés des populations du Sanmatenga (Burkina Faso). Bois et forêts des tropiques 298, 4, 53-64.

Belem B., Boussim J.I., Bellefontaine R., Guinko S.  
2008b - Stimulation du drageonnage de *Bombax costatum* Pelegr. et Vuillet par blessures de racines au Burkina Faso. Bois et forêts des tropiques 295, 1, 71-79.

Bellefontaine R.  
1992 - L'avenir du neem en zone tropicale sèche est-il menacé ? Le Flamboyant, Réseau Arbres Tropicaux, 21, 24-26.

Bellefontaine R.  
1993 - « Prétraitements des semences forestières ». In : Somé L.M., de Kam M. éd. : *Les problèmes des semences forestières, notamment en Afrique*, Backhuys Publ., Leiden, Pays-Bas, 143-153.

Bellefontaine R.  
1998 - *Egypt - Support for the French-Egyptian Project designed to create artificial forests in Desert Zones near Edfu, Qéna and Luxor, irrigated by waste water from these cities*. Cirad-Forêt, Montpellier, 20 p., multigr.

Bellefontaine R.  
1999 - « Aménagement forestier et conservation de la diversité génétique : exemple basé sur la régénération des brousses tigrées ». In Ouedraogo A.S. et Boffa J.M., éd. *Actes du premier atelier régional de formation sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques en Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale et Madagascar, 16-27 mars 1998, "Vers une approche régionale des ressources génétiques forestières en Afrique sub-saharienne"*, IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute), Rome, 107-113.

Bellefontaine R.  
2005 - Pour de nombreux ligneux, la reproduction sexuée n'est pas la seule voie : analyse de 875 cas – Texte introductif, tableau et bibliographie. Sécheresse - revue électronique 3<sup>E</sup>, décembre 2005 - [http://www.secheresse.info/article.php3?id\\_article=2344](http://www.secheresse.info/article.php3?id_article=2344)

Bellefontaine R.  
2010 - De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) ? Sécheresse 21, 1, 42-53.

Bellefontaine R., Audinet M.  
1993 - « Conservation de graines de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) ». In : Somé L.M., de Kam M. éd. : *Les problèmes des semences forestières, notamment en Afrique*, Backhuys Publ., Leiden (Pays-Bas), 268-274.

Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte Ph., Bertault J.G.  
2002 - *Trees outside forests. Towards better awareness*. Rome, FAO Conservation Guide n° 35, 234 p. <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2328E/Y2328E00.HTM>

Bellefontaine R., Malagnoux M.  
2008 - «Vegetative propagation at low cost: a method to restore degraded lands». In Lee C., Schaaf T., éd. *The Future of Drylands. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research. Tunis, Tunisia, 19-21 June 2006*, Paris, UNESCO, Man and the Biosphere series : 417-433.

Bellefontaine R., Bernoux M., Bonnet B., Cornet A., Cudennec C., D'Aquino P., Droy I., Jauffret S., Leroy M., Mainguet M., Malagnoux M., Requier-Desjardins M.  
2011 - « Le projet africain de Grande Muraille Verte : quels conseils les scientifiques peuvent-ils apporter ? Une synthèse de résultats publiés ». In Escadafal R., éd. : *Les Dossiers d'actualité*, Montpellier, CSFD - Comité Scientifique Français contre la Désertification Octobre 2011. [www.csfd-desertification.org/grande-muraille-verte.org](http://www.csfd-desertification.org/grande-muraille-verte.org)

Bellefontaine R., Ferradou A., Alifriqui M., Fikari O., El Mercht S.  
2012a - « Mobilisation de vieux arganiers par bouturage sous nébulisation artificielle. Synthèse des trois années du Projet J. Goelet de clonage d'arganiers ». In INRA-Maroc, éd. : *Actes du 1<sup>er</sup> Congrès International sur l'arganier, 15-17 décembre 2011*. Rabat, ANDZOA.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Bellefontaine R., Ferradou A.,  
Moktari M., Bouiche L., Saïbi L.,  
Kenny L., Alifriqui A., Meunier Q.  
2012b – « Mobilisation *ex situ* de vieux  
arganiers par marcottage aérien ».  
*In* INRA-Maroc, éd. : *Actes du 1<sup>er</sup> Congrès  
International sur l'arganier,  
15-17 décembre 2011*. Rabat, ANDZOA.
- Berte C.J., Ould M.M., Ould Saleck M.  
2010 - *Lutte contre l'ensablement.  
L'exemple de la Mauritanie*.  
Rome, Etude FAO Forêts, 158, 75 p.
- Boffa J.M.  
2000 - *Les parcs agroforestiers  
en Afrique sub-saharienne*. Rome,  
Cahier FAO Conservation, 34, 258 p.
- Bognougnou F., Tigabu M.,  
Savadogo P., Thiombiano A.,  
Boussim I.J., Oden P.C., Guinko S.  
2010 - Regeneration of five *Combretaceae*  
species along a latitudinal gradient  
in Sahelo-Sudanian zone of Burkina Faso.  
*Annals of forest science*, 67, 306-315.
- Bonetti C., Jouve P.  
1999 – *Jachères et systèmes agraires en Afrique  
subsaharienne. Synthèse bibliographique*.  
Dakar, Sénégal, Projet jachères 7 ACP RPR 269,  
73 p., *multigr.*
- Boureïma I.  
2002 - *Inventaire forestier sur terroirs agricoles.  
Rapport technique n°1*. Rép du Niger,  
Niamey, Direction de l'environnement,  
Projet Energie Domestique PED, 38 p., *multigr.*
- Boureïma I.  
2003 - *Plan d'aménagement des formations  
ligneuses sur terroir agricole - site pilote  
de Kornaka*. Rép. du Niger, Niamey,  
Direction de l'environnement,  
Projet Energie Domestique, 53 p., *multigr.*
- Braatz S., Kandiah A.  
1996 – Recyclage des eaux usées urbaines  
pour l'irrigation des forêts et des arbres.  
*Unasylva*, 185, 22-31.
- Brunel B., Domergue O., Maure L., Brahic P.,  
Galiana A., Josa R., De Lajudie P., Attallah T.,  
Risk H., El-Hajj S., Cleyet-Marel J.C.  
2007 - Potentialités des associations symbiotiques  
plantes-micro-organismes pour réhabiliter des sites  
fortement dégradés en milieu méditerranéen.  
*Cahiers Agricultures*, 16, 4, 324-329.
- Catinot R.  
1994 - Aménager les savanes boisées africaines -  
un tel objectif semble désormais à notre portée.  
*Bois et forêts des tropiques*, 241, 53-70.
- Cirad-Forêt  
1996 – *Les parcs à *Faidherbia**. Paris,  
Jouve (éd.), *Cahiers scientifiques*, 12, 312 p.
- Conedera M, Bomio-Pacciorini N,  
Bomio-Pacciorini P, Sciacca S, Grandi L,  
Boureïma A, Vettraino AM.  
2010 - Reconstitution des écosystèmes dégradés  
sahéliens. *Bois et forêts des tropiques*, 304, 61-71.
- Danthu A., Roussel J., Saar J. A.  
1992 - Effect of different pretreatments  
on the germination of *Acacia senegal* seeds.  
*Seed Science and Technology*, 20, 1, 111-117.
- Defaa C., Achour A., Hossayni A.,  
Bellefontaine R., El Mousadik A., Msanda F.  
2011 – « Analyse de l'itinéraire technique  
d'un périmètre exceptionnellement réussi  
de régénération d'arganiers ». *In* INRA-Maroc, éd. :  
*Actes du 1<sup>er</sup> Congrès International sur l'arganier,  
15-17 décembre 2011*. Rabat, ANDZOA.
- d'Herbès J.M., Ambouta J.M.K., Peltier R.  
1997 – *Fonctionnement et gestion  
des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*.  
*Actes de l'Atelier 20-25 novembre 1995*.  
Paris, John Libbey Eurotext, 274 p.
- Duponnois R., Founoune H.,  
Masse D., Pontanier R.  
2005 - Inoculation of *Acacia holosericea*  
with ectomycorrhizal fungi in a semi-arid site  
in Senegal: growth response and influences  
on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years  
plantation. *Forest Ecology and Management*,  
207, 351-362.
- Duponnois R., Plenchette C., Prin Y.,  
Ducousso M., Kisa M., Bâ A.M., Galiana A.  
2007 - Use of mycorrhizal inoculation  
to improve reforestation process  
with Australian *Acacia* in Sahelian ecozones.  
*Ecological engineering*, 29, 105-112.
- Duponnois R., Hafidi M., Ndoïe I.,  
Galiana A., Dreyfus B., Prin Y.  
2010. « Gestion et valorisation des ressources  
microbiennes des sols pour une revégétalisation  
durable des milieux sahéliens ». *In* Dia A.  
et Duponnois R. éd. : *Le projet majeur africain  
de la Grande Muraille Verte : concepts  
et mise en oeuvre*. IRD, Marseille, 171-182.

- Duponnois R., Ouahmane L., Kane A., Thioulouse J., Haldi M., Boumezzough A., Prin Y., Baudoin E., Galiana A., Dreyfus B. 2011 - Nurse shrubs increased the early growth of *Cupressus* seedlings by enhancing belowground mutualism and soil microbial activity. *Biology and Biochemistry*, 43, 2160-2168.
- Dupriez H., De Leener P. 1987. *Jardins et vergers d'Afrique*. Wageningen, Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale, CTA, 354 p.
- FAO 2009 - *Guidelines for good forestry and range practices in arid and semi-arid zones of the Near East*. Cairo, FAO Regional Office for the Near East, 58 p.
- FAO 2010 - *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport principal*. Rome, Étude FAO Forêts 163, 348 p.
- Falconnet G., Gruez J., Argillier C.V. 1990 - *Etude d'un support de culture de plants forestiers méditerranéens en conteneurs. Rapport de synthèse*, CEMAGREF, Aix en Provence.
- Francllet A., Najar M. 1978 - Conséquences différées des déformations racinaires chez le pin maritime. AFOCEL, Annales Recherches Sylvicoles, 177-201.
- Floret C., Serpantié G. 1993 - *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Paris, ORSTOM, 494 p.
- Ganaba S. 2008 - *Caractérisation, utilisations, tests de restauration et gestion de la végétation ligneuse au Sahel, Burkina Faso*. Dakar, Univ. Cheikh Anta Diop, Fac. Sc. et Techniques, thèse, 287 p. + ann.
- Guehl J.M., Falconnet G., Gruez G.J. 1989 - Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture. *Annales Sciences Forestières*, 46, 1-14.
- Gouwakinnou G.N., Kindomihou V., Assogbadjo A.E., Sinsin B. 2009 - Population structure and abundance of *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hochst subsp. *birrea* in two contrasting land-use systems in Benin. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 2009, 1, 6, 194-201.
- Hasnaoui B. 1991 - Régénération naturelle par rejets de souche et par drageonnement d'une suberaie dans le Nord Ouest de la Tunisie. *Ecologia mediterranea*, 17, 7987.
- Hein L., de Ridder N., Hiernaux P., Leemans R., de Wit A., Schaepman M. 2011 - Desertification in the Sahel: towards better accounting for ecosystem dynamics in the interpretation of remote sensing images. *Journal of Arid Environments*, 75, 1164-1172.
- Hinsinger P. 2001 - Bioavailability of soil, inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 237, 173-195.
- Hirche A., Salamani M., Abdellaoui A., Benhouhou S., Martínez Valderrama J. 2011 - Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179, 403-420 (DOI 10.1007/s10661-010-1744-5).
- Ichaou A. 1992 - *La contribution du terroir cultivé à l'approvisionnement en bois énergie et autres produits forestiers des populations rurales de la zone définie par le SDAN*. Katibougou, Mali, rapport de stage IPR de Katibougou, 66 p., *multigr.*
- Ichaou A. 1993 - *Synthèse bibliographique des inventaires de ressources ligneuses réalisées dans les terroirs agricoles de la zone SDAN*. Katibougou, Mali, rapport de stage IPR de Katibougou, 72 p., *multigr.*
- Ichaou A. 1995 - *Etude de la productivité des formations forestières de brousse tigrée et de brousse diffuse : conséquences pour la gestion et la régénération de ces formations*. Mémoire, IPR Katibougou, Mali, 161 p., *multigr.*
- Ichaou A. 2000 - *Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'Ouest nigérien*. Toulouse (France), Univ. P. Sabatier, thèse en écologie végétale tropicale, 230 p.
- Ichaou A. 2004 - *Etude sur les aspects techniques des activités forestières - processus d'élaboration du programme forestier national du Niger*. FAO, Rome, 15 p.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Ichaou A., Guibert B.  
2009 - *De la dune fixée à la cuvette retrouvée : l'exemple du projet d'appui à la gestion des ressources naturelles au Niger (PARN)*. Niamey, ONG Karkara, 51 p.
- Jensen J.S., Bayala J., Sanou H., Korbo A., Ræbild A., Kambou S., Tougiani A., Bouda H.N., Larsen A.S., Parkouda C.  
2011 - A research approach supporting domestication of Baobab (*Adansonia digitata* L.) in West Africa. *New Forests*, 41, 317-335.
- Karim S.  
2001 - *Contribution à l'étude de la régénération par multiplication végétative naturelle de deux combretacées dans l'ouest du Niger (Combretum micranthum G. Don et Guiera senegalensis J.F. Gmel) : conséquences pour une gestion sylvo pastorale*. Ouagadougou, Burkina Faso, DEA, 58 p., *multigr.*
- Ky-Dembélé C., Tigabu M., Bayala J., Ouedraogo S.J., Odén P.C.  
2007 - The relative importance of different regeneration mechanisms in selectively cut-savanna-woodland in Burkina Faso, West Africa. *Forest ecology and management*, 243, 28-38.
- Ky-Dembélé C., Tigabu M., Bayala J., Savadogo P., Boussim L.J., Oden P.C.  
2010 - Clonal propagation of *Detarium microcarpum* from root cuttings. *Silva Fennica*, 44, 5, 775-787.
- Lal R., Delgado J.A., Groffman P.M., Millar N., Dell C., Rotz A.  
2011 - Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of soil and water conservation*, 66, 4, 276-285.
- Lamond M., Tavakol R., Riedacker A.  
1983 - Influence du blocage de l'extrémité du pivot d'un semis de chêne, sur la morphogénèse de son système racinaire. *Annales des sciences forestières*, 40, 3, 227-250.
- Lemaire F., Dartigues A., Rivière L-M.  
1989 - *Cultures en pots et conteneurs, Principes agronomiques et applications*. Edition INRA, 2003, France, 184 p.
- Larwanou M., Abdoulaye M., Reij C.  
2006 - *Etude de la régénération naturelle assistée dans la région de Zinder (Niger) : une première exploration d'un phénomène spectaculaire*. International Resources Group, USAID, 56 p.
- Le Boulter H., Brahic P., Bouzoubâa Z., Achour A., Defaa A., Bellefontaine R.  
2012 - « L'amélioration des itinéraires techniques en pépinière de production d'arganiers en mottes-conteneurs hors sol ». *In* INRA-Maroc, éd. : *Actes du 1<sup>er</sup> Congrès International sur l'arganier, 15-17 décembre 2011*. Rabat, ANDZOA.
- Le Polain de Waroux Y.  
2012 - « La dégradation de l'arganeraie et ses causes dans la province de Taroudant ». *In* INRA-Maroc, éd. : *Actes du 1<sup>er</sup> Congrès International sur l'arganier, 15-17 décembre 2011*. Rabat, ANDZOA.
- Mahamane A., Mahamane S., Yacoubou B., Issaka A., Ichaou A., Saley K.  
2007 - Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, 18, 4, 296-304.
- Malagnoux M.  
2008 - "Degraded Arid Land Restoration for Afforestation and Agro-Silvo-Pastoral Production through New Water Harvesting Mechanized Technology". *In* Lee C. and Schaaf T. éd. : *The Future of Drylands. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research. Tunis, Tunisia, 19-21 June 2006*. UNESCO Publishing, Man and the Biosphere series, Paris, 269-282.
- Malagnoux M.  
2011 - *Gestion des plantations sur dunes*. Rome, FAO, Document de travail sur les forêts et la foresterie en zones arides, 3, 43 p.
- Malagnoux M., Jeanjean H.  
1989 - *Sylviculture et aménagement de Prosopis juliflora. Connaissance des peuplements et aménagement de l'acacia gommier en Mauritanie - Propositions d'action*. Montpellier, Cirad, 73 p., *multigr.*
- Malagnoux M., Sène E.H., Atzmon N.  
2007 - Les forêts, les arbres et l'eau dans les terres arides : un équilibre précaire. *Unasylva* 58, 229, 24-29.
- Masse D., Hien E., Kaboré T., Bilgo A., Hien V., Chotte J.L.  
2011 - Evolution of farming practices in sub-Saharan region confronted by demographic and climatic changes: runoff control and organic matter resources management. *Procedia Environmental Sciences*, 9, 124-129.

- Mazoyer M.  
1991 - *Aménagement de l'exploitation renouvelable des ressources en bois-énergie du périmètre d'approvisionnement de Niamey*. Montpellier, Cirad, Projet énergie II, 58 p., *multigr.*
- Meunier Q., Bellefontaine R., Boffa J.M. and Bitahwa N.  
2006 - *Low-cost vegetative propagation of trees and shrubs. Technical Handbook for Ugandan rural communities*. Kampala, Uganda, Angel Agencies (éd.), 66 p.
- Meunier Q., Arbonnier M., Morin A., Bellefontaine R.  
2008 - *Trees, shrubs and climbers valued by rural communities in Western Uganda. Utilisation and propagation potential*. GraphiConsult (U) Ltd, (ed.), Kampala, Uganda, 106 p.
- Morin A., Bellefontaine R., Meunier Q., Boffa J.M.  
2010 - *Harnessing natural or induced vegetative propagation for tree regeneration in agroecosystem*. Acta Botanica Gallica, 157, 3, 483-492.
- N'Klo O., Bellefontaine R., Bourg F., Nicolas D.  
2010 - *Agroforestry, basic situation, challenges and opportunities*. Wageningen, Pays-Bas, CTA (éd.), Knowledge for development, <http://knowledge.cta.int/en/content/view/full/11804>
- Noubissié-Tchiagam J.B., Ndzié J.P., Bellefontaine R., Mapongmetsem P.M.  
2011 - *Multiplication végétative de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex. A. Rich. et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au nord du Cameroun*. Fruits, 66, 5, 327-341.
- Nsibi R.  
2005 - *Sénescence et rajeunissement des subérites de Tabarka – Ain Draham avec approches écologiques et biotechnologiques*, Tunis, Université de Tunis II, Fac. Sc., thèse, 156 p.
- Nsibi R., Souayah N., Khouja M.L., Khaldi A., Rejeb M.N., Bouzid S.  
2003 - *Le drageonnement expérimental du chêne liège (*Quercus suber* L., *Fagaceae*). Effets de l'âge et des conditions de culture*. Geo-Eco-Trop, 27, 1-2, 29-32.
- Olesen K.  
1996 - *Innovations in tropical tree seed technology. Proceedings of the IUFRO Symposium of the project group P.2.04.00 'Seed Problems', Arusha, Tanzania, 7-10 September 1995*. Danida Forest Seed Centre (éd.), Humlebaek, Danemark, 302 p.
- Osman A.N., Ræbild A., Christiansen J.L., Bayala J.  
2011 - *Performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) intercropped under *Parkia biglobosa* in an agroforestry system in Burkina Faso*. African Journal of Agricultural Research, 6, 4, 882-891.
- Ouedraogo A.  
2006 - *Diversité et dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso*. Ouagadougou, Labo de biologie et écologie végétales, thèse, 195 p. + ann.
- Ouedraogo A., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K., Guinko S.  
2006 - *Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso*. *Sécheresse*, 17 (4), 485-491.
- Ouedraogo A.S., Boffa J.M.  
1999 - *Actes du premier atelier régional de formation sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques en Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale et Madagascar, 16-27 mars 1998, "Vers une approche régionale des ressources génétiques forestières en Afrique sub-saharienne"*, IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute), Rome, 299 p.
- Pain-Orcet M., Bellefontaine R.  
2004 - "Trees outside the forest : a new perspective on the management of forest resources in the tropics". In Babin D., éd.: *Beyond tropical deforestation. From tropical deforestation to forest cover dynamics and forest development*, Montpellier, Unesco/Cirad, 423-430.
- Peltier R., Lawali E.M., Montagne P.  
1994. *Aménagement villageois des brousses tachetées au Niger – 1<sup>ère</sup> partie : le milieu – potentiel et contraintes ; 2<sup>ème</sup> partie : les méthodes de gestion préconisées*. Bois et forêts des tropiques, 242, 59-76 et 243, 5-24.



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Peltier R., Dessard H., Ichaou A.  
2009 - Bilan après quinze ans de gestion communautaire d'une forêt villageoise de l'Ouest nigérien. *Sécheresse*, 20, 4, 20-31.
- Piéri C.  
1989 – *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherché et de développement agricole au sud du Sahara*. Paris, Ministère de la Coopération, 444 p.
- Pouliot M., Bayala J., Ræbild A.  
2011 - Testing the shade tolerance of selected crops under *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. in an agroforestry parkland in Burkina Faso, West Africa. *Agroforestry Systems*. DOI: 10.1007/s10457-011-9411-6.
- Ræbild A., Larsen A.S., Jensen J.S., Ouedraogo M., De Groot S., Van Damme P., Bayala J., Diallo B.O., Sanou H., Kalinganire A., Kjaer E.D.  
2011 - Advances in domestication of indigenous fruit trees in the West African Sahel. *New Forests*, 41, 297-315.
- Reij C.P.  
2009. *Reverdier le Sahel : le succès de la régénération naturelle des arbres*. *Agriadape*: 6-8.  
[http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/west-africa/la-diffusion-des-pratiques-durables/reverdier-le-sahel-le-succes-de-la-regeneration/at\\_download/article\\_pdf](http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/west-africa/la-diffusion-des-pratiques-durables/reverdier-le-sahel-le-succes-de-la-regeneration/at_download/article_pdf)
- Reij C.P., Botoni E.  
2009 - *La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel : Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles*. Univ. Libre, Amsterdam, 61 p.
- Riedacker A.  
1978 - Etude de la déviation des racines horizontales ou obliques issues de boutures de peuplier qui rencontrent un obstacle : applications pour la conception de conteneurs. *Annales Sciences Forestières*, 35, 1, 1-18.
- Riedacker A., Dreyer E., Pafadnam C., Joly H., Bory G.  
1993 – *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. *Séminaire 20/3-6/4/1990, Groupe d'Etude de l'arbre et Observatoire du Sahara et du Sahel*. Paris, John Libbey Eurotext, 489 p.
- Rives F., Peltier R., Montagne P.  
2010 – “Fifteen years of forest community management in Niger: from a technician's dream to social reality”. In *Conference on taking stock of smallholder and community forestry*, Montpellier, 24-26 mars 2010, Cirad, Montpellier, France.
- Roederer Y., Bellefontaine R.  
1990 - Peut-on espérer conserver un pouvoir germinatif aux semences de *Neem (Azadirachta indica)* ? Rome, Bulletin FAO d'informations sur les ressources génétiques forestières, 17, 31-34.
- Roose E., De Noni G.  
1998 – « Apport de la recherche à la lutte antiérosive. Bilan mitigé et nouvelle approche ». In Roose E. éd. : *Etude et Gestion des Sols*, Montpellier, ORSTOM : 5, 3, 181-194.
- Roose E., Bellefontaine R., Visser M.  
2011 - Six rules for the rapid restoration of degraded lands: synthesis of 16 case studies in tropical and Mediterranean climates. *Sécheresse*, 22, 2, 86-96.
- Sawadogo H, Bock L, Lacroix D, Zombré NP.  
2008 - Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zai et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12, 3, 279-90.
- Somé L.M., de Kam M.  
1993 - *Les problèmes des semences forestières, notamment en Afrique*, Backhuys Publ., Leiden (Pays-Bas), 471 p.
- Sotelo Montes C., Garcia R.A., Da Silva D.A., Bolzón de Muñiz G.I., Weber J.C.  
2010 - Variation and correlations in traits of *Prosopis africana* and *Balanites aegyptiaca* in the west African Sahel: implications for tree domestication programs. *Forests, trees and livelihoods*, 19, 289–298.
- Tassin J., Bellefontaine R., Roger E., Kull C.  
2009 - Evaluation des risques d'invasion par les essences forestières introduites à Madagascar. *Bois et forêts des tropiques*, 299, 1, 27-36.
- Tchoundjeu Z., Degrande A., Leakey R.R.B., Nimino G., Kemajou E., Asaah E., Facheux C., Mbile P., Mbosso C., Sado T., and Tsoheng A.  
2010- Impacts of participatory tree domestication on farmer livelihoods in west and central Africa. *Forests, trees and livelihoods*, 19, 217-234.

**La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux**

Unesco/Cirad  
2004 – *Beyond tropical deforestation.  
From tropical deforestation to forest cover  
dynamics and forest development.*  
Babin D., éd., Montpellier, Cirad,  
488 p.

Zougmore R, Mando A,  
Ringersma J, Stroosnijder L.  
2004 - Effet synergique des techniques de gestion  
de l'eau et des nutriments sur le ruissellement  
et l'érosion en zone semi-aride du Burkina Faso.  
Bulletin Réseau Erosion, 23, 540-53.



# Reboisements à base d'essences exotiques, allélopathie et mycorhization contrôlée Améliorer la mise en œuvre de la Grande Muraille Verte

*ARSÈNE SANON*  
Institut de recherche pour le développement (IRD),  
Centre de Ouagadougou, 01 BP 182 Ouagadougou, Burkina Faso  
e-mail : Arsene.Sanon@gmail.com

*FATOU NDOYE*  
Laboratoire commun de microbiologie IRD/Isra/Ucad,  
Centre de recherche de Bel Air, BP 1386, CP 18524 Dakar, Sénégal  
Faculté des Sciences et Techniques, université Cheikh Anta Diop, BP 5005 Dakar, Sénégal.  
e-mails : Fatou.Ndoye@ird.fr ou fndoye80@yahoo.fr

*ROBIN DUPONNOIS*  
UMR 113, Cirad/Inra/IRD/Sup-Agro/UM2,  
Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM),  
campus international de Baillarguet, Montpellier, France  
Faculté des Sciences Semlalia,  
Laboratoire écologie et environnement, unité associée au CNRST,  
Urac 32, université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc  
e-mail : Robin.Duponnois@ird.fr

## Résumé

Le projet majeur de la Grande Muraille Verte (GMV) de l'Afrique ambitionne de contribuer substantiellement à la lutte contre la désertification et à la mise en valeur des zones sahélo-sahariennes par une gestion durable des ressources naturelles et à la lutte contre la pauvreté. L'étendue des effets et impacts attendus de cette initiative régionale, ainsi que le nombre élevé de bénéficiaires (allant des populations vivant dans les zones d'emprise de la GMV aux États) sont un bel exemple d'intégration et méritent de capitaliser toutes les connaissances aussi bien scientifiques que paysannes (savoirs locaux, souvent dits traditionnels) afin que l'édification de cette bande de verdure se concrétise et soit un réel succès.

Cette présente contribution porte sur les possibilités actuelles qui existent, au travers de la mycorhization contrôlée, d'améliorer les performances (tout en atténuant très

significativement les éventuels impacts négatifs sur les écosystèmes hôtes) des essences exotiques couramment utilisées lors des programmes de reboisement et qui pourraient être valorisées au cours de la mise en œuvre de la Grande Muraille Verte.

Mots clés :

DIVERSITÉ BIOLOGIQUE, GRANDE MURAILLEVERTE, IMPACT ENVIRONNEMENTAL, MICROFLORE DU SOL, MYCORHIZATION CONTRÔLÉE, PLANTES EXOTIQUES, REBOISEMENT.

## Introduction

Dans la bande sahélo-saharienne de l’Afrique, les pays sont caractérisés par des revenus très limités, une démographie galopante et une insécurité alimentaire et nutritionnelle généralisée. Ainsi, une importante croissance démographique, des épisodes de sécheresse récurrents et prolongés, une pauvre régénération naturelle du couvert végétal font que les populations de ces régions exercent une forte pression sur les écosystèmes fragilisés, résultant à terme à une surexploitation et à une forte dégradation des ressources naturelles (Vandenbelt, 1992).

La désertification, phénomène certes quasi planétaire, revêt ainsi en Afrique et en particulier dans la partie sud du Sahara un visage spécifique de calamité et de pauvreté qui installe progressivement un sentiment de désolation et de fatalité. Par ses effets pernicieux et récurrents, la désertification exacerbe la dégradation des ressources naturelles et la perte de la biodiversité, réduit considérablement la productivité agricole et maintient une situation d’insécurité alimentaire et un lourd bilan socio-économique qui impactent très négativement les efforts de développement économique de la majeure partie des États de l’espace sahélo-saharien (Dia et Niang, 2010).

D’importants programmes de reboisement, associant concomitamment des actions de conservation et de restauration des sols, ont été mis en œuvre avec le concours de partenaires multiples. Le choix global des espèces végétales était basé sur des critères biophysiques, écologiques et socio-économiques des zones à reboiser.

Dans bien des cas, des essences exotiques ont été largement utilisées en raison de leur plasticité écologique, de leur croissance rapide qui constitue souvent un réel avantage (pour la fourniture de bois d’énergie notamment), et pour bien d’autres intérêts également (écologiques : stabilisation des dunes, réhabilitation des sols, fertilisation des sols, phytoremédiation... ; socio-économiques : provision de fruits, fibres, fourrage, gomme, tannins, médicaments, bois de service...).

Des études d’impacts environnementaux liés à l’utilisation de ces essences exotiques ont bien plus tard permis de se rendre compte que des effets écologiques négatifs pouvaient être associés à ces plantes exotiques, qui souvent modifient les propriétés de l’écosystème hôte afin de promouvoir leur propre installation et leur adaptation

(Bernhard-Reversat, 1987 ; Calder *et al.*, 1993 ; Sanon *et al.*, 2006 ; Kisa *et al.*, 2007). En plus de leur effet sur la composition et le fonctionnement des biotopes hôtes, les espèces exotiques peuvent devenir des menaces pour la biodiversité qui pourtant est indispensable à la durabilité des écosystèmes et à la provision de services écosystémiques vitaux.

Ainsi, « pouvoir continuer à produire de la biomasse végétale de manière à ne pas compromettre l'intégrité environnementale et la santé publique » constitue donc un challenge auquel les symbioses microbiennes telluriques, les associations mycorrhiziennes en particulier, devraient nous aider à aboutir. En effet, les symbioses mycorrhiziennes, en plus d'être bénéfiques aux plantes hôtes (Kisa *et al.*, 2007 ; Smith et Read, 2008), contribuent efficacement à la stabilité des écosystèmes végétaux (van der Heijden *et al.*, 1998 ; Kisa *et al.*, 2007).

Une utilisation judicieuse des essences exotiques et tout particulièrement la capacité de ces plantes à contracter la symbiose mycorrhizienne est un tremplin majeur pour la revégétalisation et la promotion de la biodiversité (en favorisant la coexistence interspécifique), la réhabilitation des sols dégradés ainsi que le maintien de leur fertilité dans le contexte de la Grande Muraille Verte.

## Les essences exotiques : source de perturbations écologiques après leur plantation ?

La compétition entre les plantes constitue l'un des principaux moyens susceptibles d'expliquer la variation spatiale et temporelle dans les communautés végétales. Elle peut être définie comme la recherche active, par les individus d'une même espèce ou de plusieurs espèces, d'une même ressource du milieu (Dajoz, 1971). Le niveau de compétition dans les communautés végétales dépendra, entre autres, de la répartition spatiale des plantes, des ressources nutritives en partage, et de la capacité de chaque espèce végétale ou des moyens mis en œuvre par celle-ci pour acquérir ces ressources (Freckleton et Watkinson, 2001).

La plus grande partie de la compétition entre végétaux se déroule au niveau du sol. Contrairement à la compétition au niveau aérien qui implique principalement la lumière, les plantes ont en commun une large gamme de ressources (eau, au moins 20 minéraux essentiels qui diffèrent par leur masse moléculaire, leur valence, leur état d'oxydation et leur mobilité) à se partager au niveau du sol (Casper et Jackson, 1997). Il a été suggéré que la compétition au niveau du sol réduisait beaucoup plus la performance des plantes que la compétition pour la lumière (Donald, 1958 ; Wilson, 1988), et constituerait la principale forme de compétition dans les écosystèmes ayant de faibles densités végétales (Fowler, 1986).

La production et la libération de composés allélopathiques jouent un rôle important dans la compétition pour les ressources environnementales, dans l'armement chimique de défense des plantes contre leurs prédateurs et dans les interactions intra- et interspécifiques. Le terme « allélopathie » sera restreint dans ce document à « tout effet négatif, direct ou indirect, d'une plante sur d'autres organismes (plantes, micro-organismes...) via la production de composés biochimiques libérés dans le milieu » (Rice, 1984). Ces métabolites secondaires (acides phénoliques, flavonoïdes, terpénoïdes et alcaloïdes) se retrouvent ainsi dans l'environnement via quatre principaux mécanismes : l'exsudation racinaire, la lixiviation des pluviollessivats, la volatilisation et la décomposition de la litière. Il a été rapporté que de nombreuses plantes exotiques avaient la capacité de produire des composés allélopathiques ; ce qui expliquerait (en partie) l'expansion de nombreuses plantes exotiques dans les biotopes hôtes où certaines deviennent finalement invasives aboutissant à la mise en place d'un peuplement monospécifique (*Novel Weapons Hypothesis* ; Bais *et al.*, 2002 ; Callaway et Ridenour, 2004 ; Stinson *et al.*, 2006 ; Sanon *et al.*, 2009 ; Lind et Parker, 2010). L'effet des métabolites allélopathiques se traduit, entre autres, par une inhibition de la germination des graines et de la croissance des espèces végétales voisines réduisant très significativement la diversité végétale, par des modifications profondes dans les diversités populationnelle et fonctionnelle des communautés microbiennes telluriques. La composition du peuplement végétal et, *in fine*, le fonctionnement global de l'écosystème hôte se trouvent donc modifiés.

Il a ainsi été observé que la reforestation avec des espèces végétales ayant un effet allélopathique avéré sur la strate herbacée ne permettait de lutter qu'en partie contre l'érosion du sol du fait de l'absence de la strate herbacée sous-jacente dont le rôle fort appréciable dans la fixation du sol est sans équivoque. De plus, la strate herbacée constitue dans les régions sahéliennes une source considérable de fourrage et réduire sa production viendrait à compromettre davantage le pastoralisme déjà durement éprouvé (Fostsing et Tchawa, 1994).

En Afrique au sud du Sahara, les essences exotiques telles *Gmelina arborea* et *Eucalyptus camaldulensis* ont largement été utilisées lors des programmes de reboisement (Ouédraogo, 1995 ; Diouf *et al.*, 2000). Or, ces espèces végétales à croissance rapide sont susceptibles d'entraîner des impacts écologiques négatifs notamment sur la flore et les communautés microbiennes indigènes, sur la fertilité et la salinité du sol, sur les cycles hydrologiques... (Bernhard-Reversat, 1987 ; Calder *et al.*, 1993 ; Cossalter et Pye-Smith, 2003 ; Laclau *et al.*, 2005)

Lors des expérimentations ayant porté sur *Gmelina arborea* et *Eucalyptus camaldulensis* que nous avons réalisées en conteneurs de 50 l environ, il était question de mesurer l'impact de ces essences exotiques sur le développement de la strate herbacée sous-jacente et sur la structure et le fonctionnement du compartiment microbien rhizosphérique (Sanon *et al.*, 2006 ; Kisa *et al.*, 2007). Des plantules de *Gmelina* et *Eucalyptus* ont donc été cultivées dans du sol non stérilisé, ce qui a permis le développement des herbacées issues du stock endogène de graines dans le sol. Nous avons noté que la croissance des herbacées annuelles adjacentes aux plants de

*G. arborea* ou *E. camaldulensis* est fortement inhibée lorsque les plantules étaient cultivées sans traitement préalable (exemple : sans mycorhization contrôlée). Cet effet inhibiteur serait la résultante de la compétition entre espèces végétales pour les ressources disponibles et assurerait ainsi un avantage compétitif aux essences exotiques. Parmi les mécanismes d'action mis en cause, nous pouvons citer comme évoqué précédemment l'allélopathie directe sur les herbacées [le genre *Eucalyptus* produit et libère dans l'environnement du 1,8 cinéole (Rodriguez *et al.*, 2006)], un puissant agent allélochimique qui inhibe la croissance de plusieurs espèces herbacées (Romagni *et al.*, 2000), les profondes modifications induites dans la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes telluriques natives, etc. En effet, des communautés microbiennes distinctes aussi bien dans leur structure que leur fonctionnement se développent dans la rhizosphère d'espèces ou de communautés végétales différentes (Kourtev *et al.*, 2003 ; Zak *et al.*, 2003), résultant principalement des différences quantitatives et qualitatives des apports organiques de ces espèces végétales. La modification et/ou le remplacement de la microflore rhizosphérique initiale (avant reboisement avec des essences exotiques) par une autre expliquerait pour une part significative la naturalisation et l'expansion de plantes exotiques aux dépens des espèces végétales natives (Wolfe et Klironomos, 2005 ; Jordan *et al.*, 2008).

En outre, les résultats obtenus des expérimentations avec *G. arborea* et *E. camaldulensis* indiquent des modifications de la structure (modifications révélées par les profils PCR-DGGE – *Polymerase Chain Reaction – Denaturing Gel Gradient Electrophoresis* – et le dendrogramme de l'analyse hiérarchique du profil DGGE réalisé (Kisa *et al.*, 2007) et de la diversité catabolique (modifications révélées par l'établissement des profils cataboliques [*Substrate-Induced Respiration, SIR*] et la détermination de la richesse et l'équitabilité cataboliques ; Sanon *et al.*, 2006 ; Kisa *et al.*, 2007) des communautés microbiennes telluriques. Plus spécifiquement, nos résultats suggèrent que *G. arborea* et *E. camaldulensis* affectent cette diversité catabolique en réduisant, en éliminant ou en inhibant certaines composantes des communautés microbiennes impliquées dans les processus de décomposition des substrats organiques testés (Sanon *et al.*, 2006 ; Kisa *et al.*, 2007).

De plus, nous avons observé au Sénégal que la plante herbacée exotique *Amaranthus viridis* réduisait significativement le nombre de spores de champignons mycorhiziens à arbuscules ainsi que la longueur des hyphes mycorhiziens dans sa rhizosphère prélevée *in situ* (Sanon *et al.*, 2009 ; Sanon *et al.*, 2011 a). Aussi, l'extrait aqueux de cette même plante inhibait la croissance des rhizobiums (bactéries symbiotiques fixant l'azote atmosphérique) ainsi que la nodulation des acacias.

Il découle de ces perturbations induites par la plante exotique, des perturbations écologiques durables (altération des cycles bio-géochimiques, dégradation de la microflore rhizosphérique symbiotique...), compromettant ainsi la croissance et la survie des acacias endémiques du Sahel dont le développement reste fortement dépendant de ces associations symbiotiques (Sanon *et al.*, 2009).



# Optimisation du succès des opérations de reboisement à base d'essences exotiques par la valorisation de la symbiose mycorhizienne

## Rôle écologique de la symbiose mycorhizienne dans les agro-écosystèmes

Même si des interactions de type parasitaire ont, dans certaines conditions, été décrites concernant les partenaires mycorhiziens (Johnson *et al.*, 1997 ; Klironomos, 2003 ; Purin et Rillig, 2008), la plupart des travaux mentionnent les champignons mycorhiziens comme des composantes essentielles des systèmes sol/plantes. Représentant une interface clé entre les plantes hôtes et les (macro- et micro-) nutriments du sol, les avantages de la symbiose mycorhizienne comportent également un accroissement de la résistance végétale face aux pathogènes et autres stressés environnementaux (c'est-à-dire les pollutions organiques et métalliques, la salinité, l'acidité...) et une amélioration de la nutrition hydrique des plantes hôtes en échange de photosynthétats (St-Arnaud *et al.*, 1997 ; Joner et Leyval, 2003 ; Lambers *et al.*, 2008 ; Smith et Read, 2008). Des interactions synergiques ont été décrites entre le développement des symbiotes mycorhiziens et celui d'autres micro-organismes, également importants par leur rôle dans l'amélioration de la croissance des plantes et communément appelés *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Parmi les micro-organismes dits PGPR, on peut citer ceux impliqués dans les cycles des nutriments (bactéries fixatrices d'azote, bactéries solubilisatrices des phosphates dont le groupe des pseudomonads fluorescents... ; Founoune *et al.*, 2002 ; André *et al.*, 2005 ; Duponnois *et al.*, 2005 ; Ramanankierana *et al.*, 2006) qui améliorent substantiellement le gain en poids des plantes, et donc susceptibles, en association avec les champignons mycorhiziens, de pérenniser la productivité végétale (Johansson *et al.*, 2004). De plus, le réseau d'hyphes mycorhiziens qui se développe dans le sol améliore significativement la structure du sol par la formation d'agrégats plus stables (Rillig et Mummey, 2006) et influence profondément la composition et la dynamique, *in fine*, la structuration des communautés végétales (van der Heijden *et al.*, 1998 ; Simard et Durall, 2004 ; Kisa *et al.*, 2007 ; Klironomos *et al.*, 2011 ; Sanon *et al.*, 2011 b). Enfin, la contribution des symbioses mycorhiziennes dans la séquestration du carbone et des nutriments dans le sol est également un sujet d'actualité auquel la communauté scientifique accorde un intérêt particulier (Rygielwicz et Andersen, 1994 ; Wilson *et al.*, 2009).

## La mycorhization contrôlée : outil biologique pour atténuer l'impact des plantes exotiques sur les biotopes hôtes

La dégradation du couvert végétal est généralement le premier symptôme visible de la désertification, mais cet état de dégradation est souvent accompagné ou précédé

de perturbations profondes des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Requena *et al.*, 2001 ; Cardoso et Kuyper, 2006 ; Siddiqui et Pichtel, 2008). Or, ces propriétés déterminent largement la qualité et la fertilité, donc la capacité productive du sol. Il résulte ainsi de cette dégradation du sol, une réduction drastique du potentiel mycorhizien à tel point que dans de nombreuses situations, il devient nécessaire d'« aider » les plantes à faire face à l'adversité de la nature. Une des alternatives qui se veut efficiente, peu onéreuse et respectueuse de l'environnement est la mycorhization contrôlée.

La mycorhization contrôlée est un ensemble de techniques (culture, sélection, multiplication, incorporation au sol et suivi écologique du symbiote fongique) qui a pour objectif la production de plants « biologiquement améliorés » par optimisation de l'établissement de la symbiose (Garbaye, 1991). Il s'agit ainsi de provoquer la symbiose entre un jeune plant et un champignon d'une souche particulière sélectionnée pour ses performances intrinsèques et sa synergie vis-à-vis de l'espèce végétale considérée en vue de produire des plants plus vigoureux à mettre en terre lors des opérations de reboisement.

En plus de leur capacité à mieux supporter les perturbations des premiers jours après la transplantation (« la crise de transplantation », Strullu *et al.*, 1991), à avoir accès à plus de nutriments et à mieux faire face aux stress environnementaux, les plantes inoculées voient également leurs interactions avec les autres plantes ou espèces végétales fortement influencées par la symbiose mycorhizienne.

Dans nos expérimentations concernant *Gmelina arborea* et *Eucalyptus camaldulensis* (Sanon *et al.*, 2006 ; Kisa *et al.*, 2007), il s'agissait également d'évaluer l'impact de la mycorhization contrôlée de *G. arborea* ou de *E. camaldulensis* sur la structuration de la strate herbacée sous-jacente et sur le fonctionnement microbiologique du sol. Après 12 mois de culture dans le sol non stérilisé, il est important de constater l'effet durable de la mycorhization contrôlée préalable des plantes exotiques qui se traduit par un maintien de la stimulation de la croissance de ces plantes dans le temps. En plus, les résultats obtenus montraient que la croissance (biomasses aérienne et racinaire) des herbacées spontanées sous-jacentes aux plantes exotiques était promue et les biomasses suivaient l'ordre suivant : *Non Planté* (absence de plante exotique dans le conteneur) >> *Plants inoculés* (plants inoculés avec le champignon endomycorhizien *Glomus intraradices*) > *Plants témoins* (plant sans aucun traitement préalable) > *Plants fertilisés* (plants fertilisés par un engrais NPK) (tabl. 1). Plus particulièrement, nous avons noté que l'effet négatif sur le développement des herbacées était corrélé à la croissance racinaire de l'arbre. En outre, la richesse spécifique et l'indice de diversité de Simpson-Yule des herbacées étaient significativement plus élevés dans les pots contenant les plants mycorhizés comparativement aux plants témoins et fertilisés (tabl. 1).

Ces résultats corroborent ceux préalablement obtenus et qui sous-tendent que les champignons mycorhiziens étaient susceptibles de promouvoir la coexistence entre espèces végétales (Janos 1980 ; van der Heidjen *et al.* 1998) en constatant que l'augmentation des propagules mycorhiziennes dans le sol, et par voie de conséquence la longueur des hyphes, conduisait à une plus grande diversité végétale et à

Tableau 1

Paramètres de croissance des plants de *Gmelina arborea* fertilisés (+ NPK) ou inoculés par *Glomus* intraradices après 4 mois de culture dans du sol stérilisé ; et paramètres de croissance, niveau de colonisation racinaire par les champignons MA, teneurs en P et N des plants de *G. arborea* transplantés dans des conteneurs remplis de sol non stérilisé, biomasses et indice de diversité de la strate herbacée sous-jacente (adapté de Sanon et al. 2006).

	Conteneurs non plantés par <i>G. arborea</i>	Témoin	Plants fertilisés (+ NPK) (+ GI)	Plants inoculés par <i>G. intraradices</i>
Développement des plants après 4 mois de culture dans du sol stérilisé				
Hauteur (cm)		22,7 a(1)	36,1 b	34,2 b
Biomasse aérienne (mg de matière sèche)		876 a	1540 b	1573 b
Biomasse racinaire (mg de matière sèche)		330 a	760 b	890 b
Développement des plants après 12 mois de culture dans le sol non stérilisé				
Hauteur (cm)		226 a	265,1 a	240,4 a
Biomasse totale aérienne (g de matière sèche, MS)		1570 a	2695 b	2425 b
Biomasse totale racinaire (g de MS)		520 a	750 b	710 a
Colonisation racinaire par les champignons MA (%)		32,3 a	25,6 a	69,3 b
Teneur en P des feuilles (mg/plant)		1,78 a	3,56 b	3,55 b
Teneur en N des feuilles (mg/plant)		16,6 a	30,1 b	27,2 ab
Richesse catabolique	24,8 a	28,3 ab	30,8 b	28,1 ab
Indice de diversité de Simpson-Yule de la strate herbacée	3,46 b	1,62 a	1,69 a	3,16 b
Biomasse totale aérienne de la strate herbacée (mg de MS)	65,9 c	12,1 ab	1,64 a	16,8 b
Biomasse totale racinaire de la strate herbacée (mg de MS)	18,2 c	2,8 ab	0,5 a	3,6 b
(1) : les valeurs de la même ligne indexées par la même lettre ne sont pas significativement différentes (p < 0,05)				

une productivité plus élevée de l'écosystème (fig. 1 ; van der Heijden *et al.*, 1998). À cet égard, il a été rapporté que le réseau d'hyphes faciliterait l'établissement de plantules de même espèce ou d'espèces différentes sous un arbre mature en homogénéisant l'accès aux nutriments (à travers l'établissement d'un pont mycélien connectant plusieurs plantes de même espèce ou d'espèces différentes ; Sélosse *et al.*,

2006 ; Smith et Read, 2008), ou pourrait promouvoir la co-existence entre espèces dominantes et celles moins compétitives *via* le transfert de nutriments ou de photosynthétats d'espèces végétales dominantes (dites « sources ») vers les moins compétitives (dites « puits ») (Grime *et al.*, 1987 ; Simard et Durall, 2004 ; Sélosse *et al.*, 2006). D'une manière générale, les symbioses mycorhiziennes constituent des agents biologiques de promotion de biodiversité et de productivité dans les communautés végétales (van der Heijden *et al.*, 1998 ; Hart *et al.*, 2003 ; Klironomos *et al.*, 2011), cela, bien entendu, en relation avec la dépendance mycorhizienne et la position dans la hiérarchie locale des espèces végétales en compétition (Hart *et al.*, 2003 ; Urcelay et Diaz, 2003).

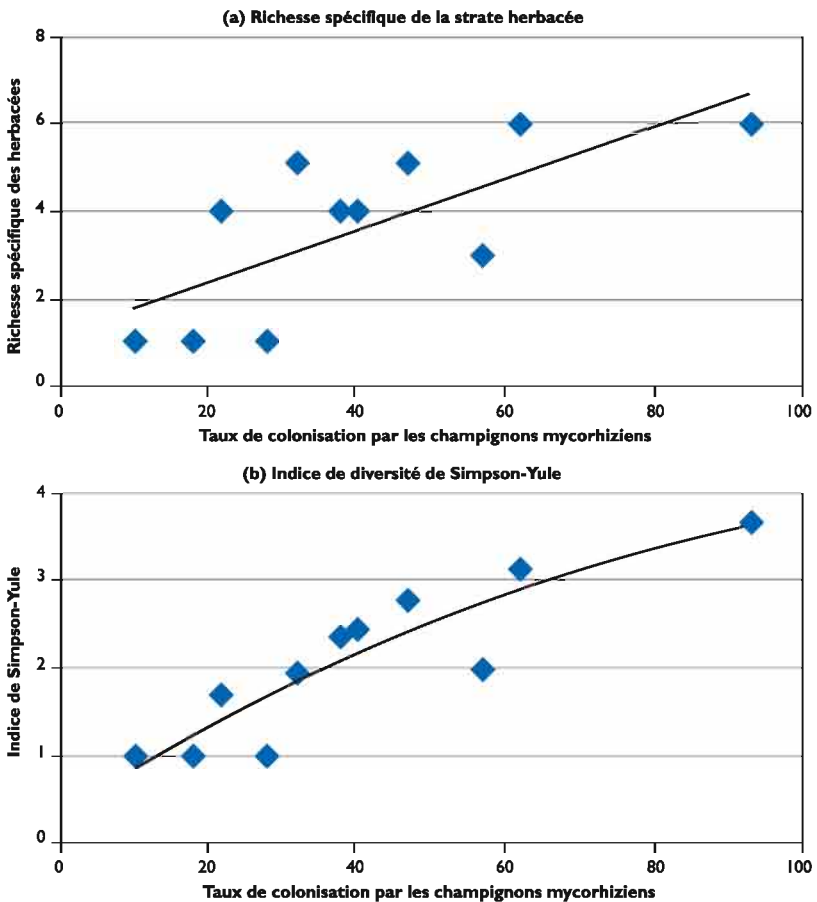


Figure 1.

Corrélations entre le niveau de colonisation racinaire par les champignons mycorhiziens des ligneux exotiques et (a) la richesse spécifique herbacée sous-jacente et (b) l'indice de diversité de Simpson-Yule des herbacées (extrait de Sanon *et al.*, 2006).

Dans les cas précis de nos expérimentations avec *Gmelina* et *Eucalyptus*, l'effet positif de la symbiose mycorhizienne sur la coexistence des arbres et leur strate herbacée, et finalement sur la diversité végétale, résulterait de « la présence du réseau mycélien bien développé » (fig. 1 ; Kisa *et al.*, 2007) « qui assurerait une uniformisation à l'accès aux ressources nutritives entre les espèces végétales dominantes (*G. arborea* ou *E. camaldulensis*) et celles qui le sont moins (herbacées annuelles) » (Wirsel, 2004). Les micro-organismes telluriques peuvent utiliser comme source de carbone et d'énergie les composés organiques dont les substances allélopathiques qui sont alors dégradées, transformées ou minéralisées, donc inactivées (Inderjit, 2005). « Les champignons mycorhiziens à arbuscules et la microflore mycorhizosphérique qui leur est associée ont été décrits comme des agents biologiques potentiels capables de métaboliser les composés allélochimiques » (Pellissier et Souto, 1999 ; Blum *et al.*, 2000). Par ce mécanisme, les champignons mycorhiziens et leur microflore associée peuvent donc, indirectement, protéger les espèces végétales herbacées de ces substances nocives libérées par les ligneux exotiques, promouvant par la même occasion la biodiversité végétale et la productivité de l'écosystème.

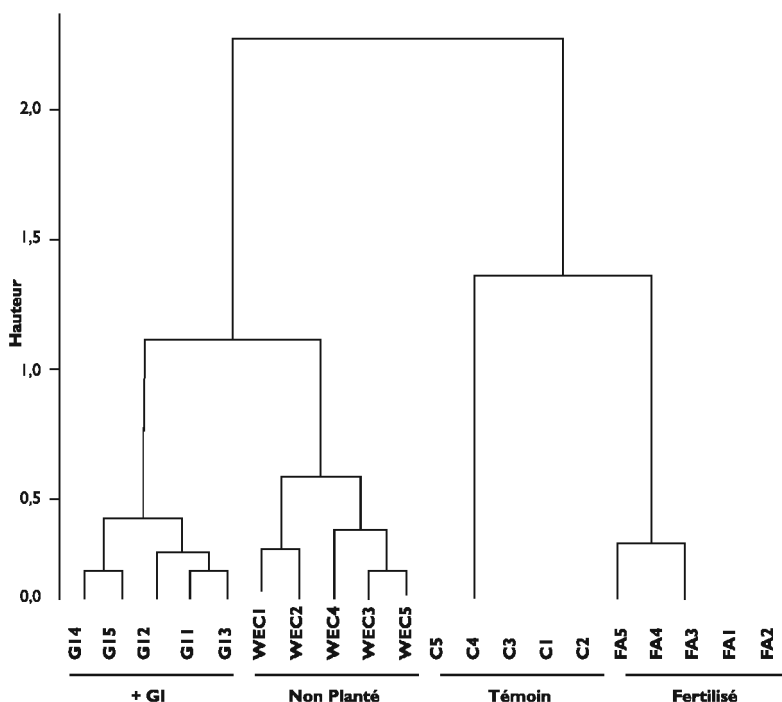


Figure 2.

Similarités entre les profils PCR-DGGE obtenus des communautés bactériennes des échantillons de sol des différents traitements (+ GI : ligneux exotiques inoculés par le champignon endomycorhizien *Glomus intraradices* ; Non planté : conteneurs sans ligneux exotiques ; Témoin : ligneux exotiques sans traitement préalable ; Fertilisé : ligneux exotiques fertilisés par du NPK ; Kisa *et al.*, 2007).

Par ailleurs, l'étude plus complète réalisée sur *E. camaldulensis* (Kisa *et al.*, 2007) montre que l'inoculation mycorhizienne préalable de la plante exotique tend à restaurer le fonctionnement du sol à sa situation initiale d'avant perturbation (état des conteneurs non plantés), avec des structures de communautés bactériennes similaires (fig. 2), une équitabilité catabolique (fig. 3) et un potentiel mycorhizien (fig. 4) plus élevés dans les sols issus de ces deux traitements (traitements inoculé et non planté). Les champignons mycorhiziens ont donc joué un effet « tampon » face aux perturbations induites par la plantation des essences exotiques en améliorant la capacité de résilience de l'écosystème hôte. Le concept de résilience écologique fait référence à la capacité d'un écosystème à supporter diverses perturbations et adopter différentes stratégies pour recouvrer certaines de ses propriétés originelles (fonctions, structure, composition, etc.) (Peterson *et al.*, 1998). La capacité d'une espèce végétale à tolérer un stress d'origine biotique ou abiotique est fortement dépendante du degré d'établissement et de fonctionnement des relations symbiotiques entre le champignon mycorhizien et la plante hôte (Barea *et al.*, 1997). À l'échelle de la communauté végétale, il est aussi admis que les peuplements plurispécifiques, donc plus diversifiés, présentaient une plus grande capacité d'adaptation et/ou de recouvrement face aux adversités biotiques et abiotiques (Petersen *et al.*, 1998 ; Kennedy *et al.*, 2002).

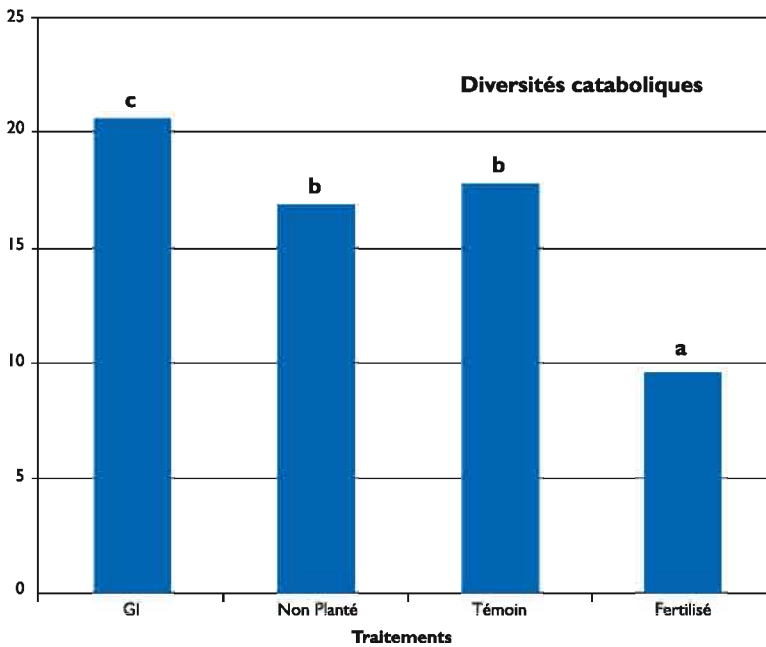


Figure 3.  
Diversités cataboliques des communautés microbiennes des sols  
(adaptée de Kisa *et al.*, 2007).

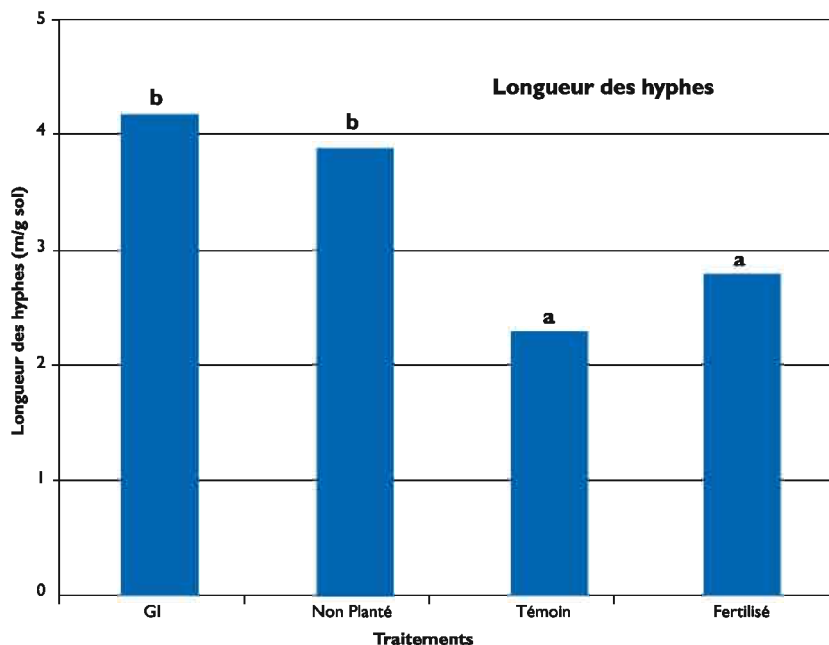


Figure 4.  
Longueur des hyphes mycorrhiziens mesurée des échantillons de sol  
(adaptée de Kisa et al., 2007).

Même si des études complémentaires, qui seront à réaliser directement *in situ*, sont nécessaires afin de vérifier et conforter les résultats obtenus lors de nos expérimentations en conteneurs avec *Gmelina arborea* et *Eucalyptus camaldulensis*, les champignons mycorrhiziens apparaissent d'ores et déjà comme des candidats potentiels en vue d'améliorer les pratiques de reboisement à base d'essences exotiques.

## Conclusion et perspectives

Face aux multiples défis environnementaux – la désertification principalement –, auxquels l'Afrique est confrontée, le projet d'édification d'une ceinture verte du Sénégal à Djibouti pour lutter contre la désertification revêt un caractère salutaire. Les efforts pour aider à la mise en œuvre de cette ambitieuse initiative africaine de « Grande Muraille Verte » doivent être capitalisés et consolidés afin de converger efficacement vers des actions de reboisement et d'aménagement, de restauration des terres et de la biodiversité, de développement des systèmes agricoles et pastoraux durables, de lutte contre la pauvreté par la réalisation d'activités génératrices de revenus favorables au repeuplement des zones sahélo-sahariennes.

Au vu de l'état de dégradation avancé des sols et des sécheresses récurrentes, entre autres, il est important de mentionner que les actions de reboisement classique à elles seules seront incapables de renverser la tendance actuelle de déboisement/déforestation et perte générale du couvert forestier. De plus, dans certains cas, le besoin de reboisement par l'utilisation d'essences exotiques se pose avec acuité en raison d'avantages socio-économiques et écologiques que peuvent présenter ces espèces végétales. Cependant, des perturbations écologiques sont souvent associées à l'utilisation de certaines essences exotiques. La mycorhization contrôlée peut donc constituer un atout majeur en vue de la production de plants plus aptes à faire face à l'adversité environnementale tout en perturbant le moins possible le fonctionnement écologique des biotopes hôtes.

Dans notre contexte africain, les pépiniéristes privés ou les services forestiers évaluent rarement le statut mycorhizien des plants forestiers malgré les bénéfices potentiels de l'inoculation contrôlée sur la croissance des plants en pépinière comme après plantation, et à terme, sur la stabilité et la diversité biologique des écosystèmes. Or, la technique de mycorhization contrôlée est déjà bien répandue dans les pays tempérés et mérite d'être davantage promue sous les tropiques. La sensibilisation des pépiniéristes est à encourager d'autant plus que les techniques de mycorhization contrôlée permettent d'obtenir des plants équilibrés, vigoureux et sains tout en atténuant par la même occasion les éventuelles perturbations écologiques associées à certaines espèces végétales dans les sites à reboiser.

Ensuite, les techniques de production de plants en pépinière sont à optimiser en apportant l'associé fongique approprié lorsqu'il est absent. Le choix du partenaire fongique adapté à l'essence et aux conditions pédoclimatiques est primordial pour la réussite des plantations des essences indigènes ou introduites. Le problème de la spécificité peut se poser lorsqu'on introduit par exemple des essences en dehors de leur aire d'origine. On pourra envisager, dans le cas où les symbiotes indigènes ne sont pas compatibles avec la plante introduite, de nous orienter vers le choix de symbiote fongique ayant co-évolué avec la plante dans l'aire d'origine de celle-ci en n'occultant pas le soin de réaliser un suivi écologique du matériel biologique introduit (inoculum fongique).

Toutefois, la production d'inoculum commercialisé reste encore un des obstacles majeurs pour la diffusion de la technique de mycorhization contrôlée. Des procédés de fabrication d'inoculum mycorhizien à grande échelle sont à promouvoir puisque la demande en produits forestiers (production de plants) va croissant dans le contexte actuel d'atténuation des impacts et d'adaptation aux changements climatiques.

## Références

André S., Galiana A., Le Roux C., Prin Y., Neyra M., Duponnois R., 2005 - Ectomycorrhizal symbiosis enhanced the efficiency of two *Bradyrhizobium* inoculated on *Acacia holosericea* plant growth. *Mycorrhiza* 15 : 357-364.

Bais H. P., Walker T. S., Stermitz F. R., Hufbauer R. A., Vivanco J. M., 2002 - Enantiomeric-dependent phytotoxic and antimicrobial activity of ( $\pm$ ) catechin. A rhizosecreted racemic mixture from spotted knapweed. *Plant Physiology* 128 : 1173-1179.



## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Barea J. M., Azcon-Aguilar C., Azcon R., 1997 – « Interactions between mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms within the context of sustainable soil-plant systems ». In Gange A. C., Brown V. K., eds. : *Multitrophic Interactions in Terrestrial Systems*, Cambridge, Blackwell Science : 65-77.
- Bernhard-Reversat F., 1987 - Les cycles des éléments minéraux dans un peuplement à *Acacia seyal* et leur modification en plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal. *Acta Oecologia* 8 : 3-16.
- Blum U., Statman K. L., Flint L. J., Shaefer S. R., 2000 - Induction and/or selection of phenolic acid-utilizing bulk-soil and rhizospheric bacteria and their influence on phenolic acid phytotoxicity. *Journal of Chemical Ecology* 26 : 2059-2078.
- Calder I. R., Hall R. L., Prasanna K. T., 1993 - Hydrological impact of Eucalyptus plantation in India. *Journal of Hydrology* 150 : 635-648.
- Callaway R. M., Ridenour W. M., 2004 - Novel weapons : invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2 : 436-443.
- Cardoso I. M., Kuyper T. M., 2006 - Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116 : 72-84.
- Casper B. B., Jackson R. B., 1997 - Plant competition underground. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28 : 545-570.
- Cossalter C., Pye-Smith C., 2003 - *Fast-Wood Forestry : Myths and Realities*. Bogor, CIFOR. 50 p.
- Dajoz R., 1971 - *Précis d'Écologie*. Paris, Dunod. 334 p.
- Dia A., Niang A. M., 2010 - « Le Projet Majeur Grande Muraille Verte de l'Afrique : contexte, historique, approche stratégique, impacts attendus et gouvernance ». In IRD Éd. : *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre*. Marseille, IRD : 9-25.
- Diouf D., Sougoufara B., Neyra M., Lesueur D., 2000 - *Le reboisement au Sénégal : bilan des réalisations de 1993 à 1998*. Rapport CIRAD-IRD-DEFCCS. 49 p., multigr.
- Donald C. M., 1958 - The interaction of competition for light and for nutrient. *Australian Journal of Agricultural Research* 9 : 421-435.
- Duponnois R., Colombet A., Hien V., Thioulouse J., 2005 - The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology and Biochemistry* 37 : 1460-1468.
- Fotsing J. M., Tchawa P., 1994 - Pastoralisme et dégradation/conservation des sols des terroirs d'altitude du Cameroun de l'Ouest. Réseau Erosion, Bulletin, n° 14 : 359-373.
- Founoune H., Duponnois R., Meyer J. M., Thioulouse J., Masse D., Chotte J. L., Neyra M., 2002 - Interactions between ectomycorrhizal symbiosis and fluorescent pseudomonads on *Acacia holosericea* : isolation of Mycorrhiza Helper Bacteria (MHB) from a Soudano-Sahelian soil. *FEMS Microbiology Ecology* 41 : 37-46.
- Fowler N. L., 1986 - The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17 : 89-110.
- Freckleton R. P., Watkinson A. R., 2001 - Asymmetric competition between plant species. *Functional Ecology* 15 : 615-623.
- Garbaye J., 1991 - Biological interactions in the mycorrhizosphere. *Experientia* 47 : 370-375.
- Grime J. P., Mackey J. M. L., Hillier S. H., Read D. J., 1987 - Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature* 328 : 420-422.
- Hart M. M., Reader R. J., Klironomos J. N., 2003 - Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Trends in Ecology and Evolution* 18 : 418-423.

- Inderjit, 2005 -  
Soil microorganisms : an important determinant of allelopathic activity.  
Plant and Soil 274 : 227-236.
- Janos D. P., 1980 -  
Mycorrhizae influence tropical succession.  
Biotropica 12 : 56-64.
- Johansson J. F., Paul L. R., Finlay R. D., 2004 -  
Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture.  
FEMS Microbiology Ecology 48 : 1-13.
- Johnson N. C., Graham J. H., Smith F. A., 1997 -  
Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum.  
New Phytologist 135 : 575-585.
- Joner E. J., Leyval C., 2003 -  
Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza.  
Environmental Science and Technology 37 : 2371-2375.
- Jordan N. R., Larson D. L., Huerd S. C., 2008 -  
Soil modification by invasive plants : effects on native and invasive species of mixed-grass prairies.  
Biological Invasions 10 : 177-190.
- Kennedy T. A., Naeem S., Howe K. M., Knops J. M. H., Tilman D., Reich P., 2002 -  
Biodiversity as a barrier to ecological invasion.  
Nature 417 : 636-638.
- Kisa M., Sanon A., Thioulouse J., Assigbetse K., Sylla S., Spichiger R., Dieng L., Berthelin J., Prin Y., Galiana A., Lepage M., Duponnois R., 2007 -  
Arbuscular mycorrhizal symbiosis can counterbalance the negative influence of the exotic tree species *Eucalyptus camaldulensis* on the structure and functioning of soil microbial communities in a Sahelian soil.  
FEMS Microbiology Ecology 62 : 32-44.
- Klironomos J., Zobel M., Tibbett M., Stock W. D., Rillig M. C., Parrent J. L., Moora M., Koch A. M., Facelli J. M., Facelli E., Dickie I. A., Bever J. D., 2011 -  
Forces that structure plant communities : quantifying the importance of the mycorrhizal symbiosis.  
New Phytologist 189 : 366-370.
- Klironomos J. N., 2003 -  
Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi.  
Ecology 84 : 2292-2301.
- Kourtev P. S., Ehrenfeld J. G., Häggblom M., 2003 -  
Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities.  
Soil Biology and Biochemistry 35 : 895-905.
- Laclau J., Ranger J., Deleporte P., Nouvellon Y., Saintandre L., Marlet S., Bouillet J., 2005 -  
Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3. Input-output budgets and consequences for the sustainability of the plantations.  
Forest Ecology and Management 210 : 375-391.
- Labbers H., Raven J. A., Shaver G. R., Smith S. E., 2008 -  
Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age.  
Trends in Ecology and Evolution 23 : 95-103.
- Lind E. M., Parker J. D., 2010 -  
Novel weapons testing : are invasive plants more chemically defended than native plants ?  
PLoS ONE 5(5) : e10429.  
doi : 10.1371/journal.pone.0010429.
- Ouédraogo SJ, 1995 -  
*Les parcs agroforestiers au Burkina Faso. Rapport AFRENA n° 79, 76 p., multigr.*
- Pellissier F., Souto X., 1999 -  
Allelopathy in Northern temperate and boreal semi-natural woodland.  
Critical Reviews in Plant Sciences 18 : 637-652.
- Petersen G., Allen C. R., Holling C. S., 1998 -  
Ecological resilience, biodiversity, and scale.  
Ecosystems 1 : 6-18.
- Purin S., Rillig M. C., 2008 -  
Parasitism of arbuscular mycorrhizal fungi : reviewing the evidence.  
FEMS Microbiology Ecology 279 : 8-14.
- Ramanankierana N., Rakotoarimanga N., Thioulouse J., Kisa M., Randrianjohany E., Ramaroson L., Duponnois R., 2006 -  
The Ectomycorrhizosphere effect influences functional diversity of soil microflora.  
International Journal of Soil Science 1 : 8-19.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

- Requena N., Perez-Solis E., Azcon-Aguilar C., Jeffries P., Barea J. M., 2001 - Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology* 67 : 495-498.
- Rice E. L., 1984 - *Allelopathy*. New York, Academic Press, 353 p.
- Rillig M. C., Mummey D. L., 2006 - Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171 : 41-53.
- Rodriguez P., Sierra W., Rodriguez S., Menéndez P., 2006 - Biotransformation of 1,8-cineole, the main product of Eucalyptus oils. *Electronic Journal of Biotechnology* 9 : 232-236.
- Romagni J. G., Allen S. N., Dayan F. E., 2000 - Allelopathic effects of volatile cineoles on two weedy plant species. *Journal of Chemical Ecology* 26 : 303-313.
- Rygielwicz P. T., Andersen C. P., 1994 - Mycorrhizae alter quality and quantity of carbon allocated belowground. *Nature* 36 : 58-60.
- Sanon A., Beguiristain T., Cébron A., Berthelin J., Sylla S. N., Duponnois R., 2011a - Differences in nutrient availability and mycorrhizal infectivity in soils invaded by an exotic plant negatively influence the development of indigenous *Acacia* species. *Journal of Environmental Management*. (in press). doi : 10.1016/j.jenvman.2011.01.025.
- Sanon A., Baudoin E., Prin Y., Galiana A., Duponnois R., Ndoye F., 2011b - *Plant coexistence and diversity mediated belowground : the importance of mycorrhizal networks*. New York, Nova Sciences Publishers, 40 p.
- Sanon A., Beguiristain T., Cébron A., Berthelin J., Ndoye I., Leyval C., Sylla S., Duponnois R., 2009 - Changes in soil diversity and global activities following invasion of the exotic invasive plant, *Amaranthus viridis* L., decrease the growth of native sahelian *Acacia* species. *FEMS Microbiology Ecology* 70 : 118-131.
- Sanon A., Martin P., Thioulouse J., Plenchette C., Spichiger R., Lepage M., Duponnois R., 2006 - Displacement of an herbaceous plant species community by mycorrhizal and non-mycorrhizal *Gmelina arborea*, an exotic tree, grown in a microcosm experiment. *Mycorrhiza* 16 : 125-132.
- Selosse M. A., Richard F., He X., Simard S. W., 2006 - Mycorrhizal networks : des liaisons dangereuses ? *Trends in Ecology and Evolution* 21 : 621-628.
- Siddiqui Z. A., Pichtel J., 2008 - Mycorrhizae : an overview. In Siddiqui Z. A., Akhtar M. S., Futai K., eds. : *Mycorrhizae : Sustainable Agriculture and Forestry*. Dordrecht, Springer, : 1-35.
- Simard S. W., Durrall D. M., 2004 - Mycorrhizal networks : a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany* 82 : 1140-1165.
- Smith S. E., Read D. J., 2008 - *Mycorrhizal symbiosis*. London, Academic Press, 800 p.
- St-Arnaud M., Hamel C., Vimard B., Caron M., Fortin J. A., 1997 - Inhibition of *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* in the non-VAM species *Dianthus caryophyllus* by co-culture with *Tagetes patula* companion plants colonized by *Glomus intraradices*. *Canadian Journal of Botany* 75 : 998-1005.
- Stinson K. A., Campbell S. A., Powell J. R., Wolfe B. E., Callaway R. M., Thelen G. C., Hallett S. G., Prati D., Klironomos J. N., 2006 - Invasive plant suppresses the growth of native tree seedling by disrupting belowground mutualisms. *PLOS Biology* 4 : 727-731.
- Strullu D. G., Perrin R., Plenchette C., 1991 - *Mycorhizes des arbres et plantes cultivées*. Tech. & Doc./Lavoisier, 254 p.
- Urcelay C., Diaz S., 2003 - The mycorrhizal dependence of subordinates determines the effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant diversity. *Ecology Letters* 6 : 388-391.

## La GMV. Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux

van der Heijden M. G. A., Klironomos J. N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A., Sanders I. R., 1998 - Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396 : 69-72.

Vandenbelt R. J., 1992 - *Faidherbia albida* in the West African semi-arid tropics : proceedings of a workshop, 22-26 April 1991, Niamey, Niger.

Wilson G. W. T., Rice C. W., Rillig M., Springer A., Hartnett D. C., 2009 - Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi : results from long-term field experiments. *Ecology Letters* 12 : 452-461.

Wilson J. B., 1988 - Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology* 25 : 279-296.

Wirsel S. G. R., 2004 - Homogenous stands of wetland grass harbour diverse consortia of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology* 48 : 129-138.

Wolfe B. E., Klironomos J. N., 2005 - Breaking new ground : soil communities and exotic plant invasion. *BioScience* 55 : 477-487.

Zak D. R., Holmes W. E., White D. C., Peacock A. D., Tilman D., 2003 - Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function : Are there any links ? *Ecology* 84 : 2042-2050.



# Conclusion



# Conclusion

*ABDOULAYE DIA*

Secrétaire exécutif de l'Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte,  
BP 395, Bololo, N'Djamena, Tchad

*ROBIN DUPONNOIS*

Direction des programmes et de la formation pour le Sud (DPF),  
Agence inter-établissements de recherche pour le développement (AIRD),  
Institut de recherche pour le développement (IRD),  
Le Sextant, 44, bd de Dunkerque - CS 90009 13572 Marseille Cedex 02  
UMR 113 Cirad/Inra/IRD/Agro-M/UM2.  
Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM).  
Campus international de Baillarguet, Montpellier, France.

La lutte contre la désertification, les changements climatiques, la conservation des ressources naturelles et la diversité biologique dans les milieux arides et sub-arides constituent une des priorités majeures des États sahélo-sahariens du Circum-Sahara. Ces types de milieux font l'objet d'une attention toute particulière du fait que : (1) 1,2 milliard de personnes vivent dans des zones où l'eau est une ressource rare ; (2) les zones arides représentent 41 % de la surface du globe ; (3) 2,6 milliards de personnes sont affectées par la désertification ; (4) la croissance démographique des pays des zones arides a connu une augmentation de 18 % au cours des années 1990 ; (5) le PIB des pays des zones arides est inférieur de 50 % en moyenne par rapport aux autres nations ; (6) la régénération naturelle de la strate végétale et du sol des zones arides est beaucoup plus lente que celle observée dans des environnements bénéficiant d'une pluviométrie régulière et plus abondante (WOCAT, 2009). Dans ce contexte alarmant, des politiques opérationnelles nationales à différentes échelles institutionnelles ont été engagées au cours des cinq dernières décennies sur le continent africain. Elles se sont traduites par des programmes multisectoriels ainsi que par des recherches thématiques de caractérisation, de prévention, de lutte et de restauration. Ces actions nombreuses et diverses, mises en place dans un environnement aux caractéristiques variées, ont permis d'acquérir un capital important d'expériences, de pratiques, de données scientifiques et de techniques pertinentes. À cela s'ajoute un important savoir traditionnel des populations locales, qui leur a permis de lutter et de développer à travers des décennies une forme de résilience face aux perturbations environnementales.



L'Initiative africaine Grande Muraille Verte, « IAGMV », traduit la vision, marque l'engagement et concrétise l'approche stratégique des États sahéliens fortement soumis aux effets de la désertification et des changements climatiques. L'IAGMV intègre ainsi dans sa stratégie et ses objectifs les préoccupations des conventions des Nations unies sur la désertification, les changements climatiques et la biodiversité. Elle affirme et concrétise l'émergence d'un leadership de l'Afrique dans la prise en charge de ses défis environnementaux, à travers une gestion durable et une valorisation judicieuse de l'important potentiel de développement que recèlent ces milieux arides. Ce potentiel, essentiellement localisé dans les zones rurales, représente le plus souvent plus de 60 % de la superficie du pays dans la bande sahélienne et demeure insuffisamment valorisé par les stratégies et politiques nationales de développement.

Les objectifs stratégiques principaux de ce projet s'organisent autour des points focaux suivants :

- lutter contre les effets et l'avancée de la désertification *via* des opérations concrètes de restauration et de conservation des sols, des ressources végétales et des ressources hydriques ;
- mettre en valeur et gérer durablement les potentialités de développement des zones arides essentiellement rurales ;
- améliorer les services socio-économiques de base et les capacités techniques et de gestion et de gouvernance locale des populations des zones arides.

Les résultats attendus de ces engagements résolument interventionnistes et opérationnels permettront à terme de contribuer à l'amélioration des opérations : (1) de lutte contre l'avancée du désert du Sahara ; (2) de mise en valeur des zones arides et sub-arides rurales sahéliennes ; (3) de gestion durable des terres et des ressources naturelles ; (4) d'éradication de la pauvreté, afin d'atteindre les seuils de la sécurité alimentaire ; (5) de création de Pôles ruraux de développement (PRD), puissants vecteurs de développement et d'intégration.

Ce document fait suite à un précédent ouvrage, intitulé *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre* (Dia et Duponnois, 2010), et révèle à travers les différentes contributions présentées le potentiel technique et scientifique immédiatement disponible pour remédier concrètement et rapidement aux perturbations des cycles naturels (eau, biomasse et éléments nutritifs) qui conduisent à une baisse de la productivité agricole et à une dégradation de l'environnement à l'échelle mondiale (changements climatiques, perte de surface agricole utile). Cet ouvrage de synthèse pluridisciplinaire présente l'état des lieux des connaissances et des initiatives portant sur la gestion des problématiques de la désertification ainsi que des changements climatiques et leurs impacts. Il capitalise les résultats, les expériences, les techniques et autres données pertinentes issues de la recherche scientifique, ainsi que des pratiques et des savoirs traditionnels acquis dans ces différents domaines au cours des cinquante dernières années. L'événement majeur que constitue le lancement de la première série de programmes de recherche tripartite Afrique-Brésil-France, « Lutte contre la désertification en Afrique », et spécifiquement sur les zones arides de la Grande Muraille Verte, dans le cadre

de l'Accord tripartite France (Agence inter-établissements de recherche pour le développement, AIRD) – Afrique (Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte, APMV) – Brésil (Centre de gestion et d'études stratégiques du Brésil, CGEE, et Conseil national de développement scientifique et technologique, CNPq) lors de la Conférence de Rio+20 démontre également la place importante de la recherche scientifique et de la valorisation des savoirs locaux dans la stratégie d'opérationnalisation de l'IAGMV. La série de programmes a pour objectif de structurer une communauté scientifique Afrique-Brazil-France d'appui à la lutte contre la désertification sur le continent africain. Les contributions scientifiques importantes figurant dans cet ouvrage de référence, portant notamment sur le pastoralisme, l'agriculture et la caractérisation des zones arides, constitueront des bases de référence dans la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation de l'IAGMV.

Enfin, cet ouvrage sera fort utile à la réalisation du volet « Recherche d'accompagnement et développement » (RA&D) du Plan d'action quinquennal 2011-2015 intégrant la recherche scientifique et la valorisation des savoirs locaux.

## Références

Dia, A. et Duponnois, R. (2010).  
*Le projet majeur africain  
de la Grande Muraille Verte :  
concepts et mise en œuvre.*  
IRD Éditions, 432 p.

WOCAT (World Overview  
of Conservation Approaches  
and Technologies) (2009).  
*Les bénéfices de la gestion durable  
des terres.* 15 p.





*Imprimé en France.* - JOUVE, 1, rue du Docteur Sauvé, 53100 MAYENNE  
N° 961328H. - Dépôt légal : septembre 2012





La désertification est un phénomène mondial qui affecte près de la moitié de la surface de la planète. En Afrique, 43 % des terres se trouvent dans des zones arides ou semi-arides, et la lutte contre la désertification dans ces milieux y constitue une des priorités majeures des États sahélo-sahariens du Circum-Sahara. L'« Initiative africaine Grande Muraille Verte » (IAGMV) répond à ces enjeux via un ensemble d'actions destinées à assurer le développement socio-économique régional. Elle signe l'émergence d'un leadership de l'Afrique dans la prise en charge de ses défis environnementaux, à travers la gestion durable et la valorisation de l'important potentiel de développement des zones arides du continent. Malgré l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques dans les domaines liés à la gestion durable des terres en zones arides, la majeure partie de ces données n'a pas été capitalisée et diffusée, ce qui fragilise la mise en place des différentes politiques de lutte contre la désertification.

Cet ouvrage a ainsi pour objectif de faire l'état des lieux des connaissances et initiatives sur la gestion des problématiques de la désertification. Il capitalise les résultats, les expériences, les techniques et autres données issues de la recherche scientifique, mais aussi des pratiques et des savoirs traditionnels acquis au cours des cinquante dernières années. Il propose les recommandations qui en découlent afin d'optimiser les stratégies et les performances des programmes et projets de l'« Initiative Grande Muraille Verte ». Il s'adresse aux chercheurs, hydrologues, écologues, agronomes ainsi qu'aux développeurs et aménageurs investis dans les programmes de lutte contre la désertification.

Un cd-rom reprenant l'ensemble des contributions augmentées de deux documents est joint à l'ouvrage.



Institut de recherche  
pour le développement

IRD  
44, bd de Dunkerque  
13572 Marseille cedex 02  
editions@ird.fr  
www.editions.ird.fr

42 €



ISBN 978-2-7099-1738-4