



AGROPOLIS
INTERNATIONAL

CSFD - *Les Dossiers d'actualité*

Octobre 2011

www.csf-desertification.org/grande-muraille-verte

Le projet africain de Grande Muraille Verte : quels conseils les scientifiques peuvent-ils apporter ?

Une synthèse de résultats publiés

Coordinateur : R. Escadafal, *Président du CSFD*

Auteurs : R. Bellefontaine, M. Bernoux, B. Bonnet, A. Cornet, C. Cudennec, P. D'Aquino,
I. Droy, S. Jauffret, M. Leroy, M. Mainguet, M. Malagnoux, M. Requier-Desjardins,
Membres du CSFD

Rédactrices : I. Amsallem, *Agropolis Productions*, S. Jauffret, *Ecologue consultante*

Le Comité Scientifique Français de la Désertification

Le **CSFD** a été créé en 1997 pour fournir un soutien aux ministères en charge de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULD ou UNCCD en anglais). Il a pour objectifs de mobiliser la communauté scientifique française, en particulier au niveau international, de servir de guide et de conseil aux décideurs politiques et aux acteurs de la lutte.

Le CSFD est composé d'une vingtaine de membres et d'un président, qui est le correspondant scientifique et technique de la France pour la Convention. Ils sont nommés par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et issus des différents champs disciplinaires et des principaux organismes et universités concernés.

Le financement de son fonctionnement est assuré par des subventions du ministère des Affaires étrangères et européennes, du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, et de l'Agence Française de Développement.

CSFD - Comité Scientifique Français de la Désertification

Agropolis International

Avenue Agropolis

F-34394 Montpellier CEDEX 5

France

Tél. +33 (0)4 67 04 75 75 – Fax. +33 (0)4 67 04 75 99

csfd@agropolis.fr - www.csf-desertification.org

Retrouvez-nous sur twitter.com/csf_fr et sur Facebook

Les dossiers thématiques du CSFD et Dossiers d'actualité

Les « *dossiers thématiques du CSFD* » dont le premier numéro est paru en janvier 2005 forment maintenant une collection qui est enrichie continuellement par les membres du comité et vise à couvrir les principales facettes thématiques de la désertification. L'élaboration d'un dossier sous la responsabilité d'un ou quelques auteurs bénévoles, puis sa validation par le comité nécessite des allers et retours nombreux. Les délais entre la décision de l'entreprendre et la parution en sont de ce fait parfois assez longs, et même trop longs face à des sujets d'actualité.

C'est ce qui a motivé la conception du présent « *dossier d'actualité* » qui a été lancé pour apporter une réponse aux questions scientifiques qui se posent au moment du lancement du projet de **Grande Muraille Verte Panafricaine**. Il a été préparé en coordonnant les contributions des différents membres du comité pour réaliser dans des délais plus courts une synthèse collective des principales informations disponibles, issues de la littérature existante.

Date de publication : 05/10/2011 – Version 1.0

SOMMAIRE

PREAMBULE	2
INTRODUCTION : DESERTIFICATION, GESTION DURABLE DES TERRES ET MURAILLES VERTES	3
Le Sahara est un désert déjà ancien !	3
Le Sahara n'avance pas mais les hommes créent des conditions désertiques au Sahel !	3
Lutter contre la désertification n'est pas si simple !	3
Rappel chronologique des plus grands projets de barrage vert	5
INTERET DES ARBRES EN MILIEU SEMI-ARIDE	8
Production et utilisation de la biomasse forestière	8
Fonctionnement des écosystèmes	10
La restauration de la fertilité des sols	10
Valorisation de la symbiose mycorhizienne en milieu aride et semi-aride	11
La place de l'arbre dans la lutte contre l'érosion	11
LES ARBRES DANS LEUR DIMENSION SOCIETALE	16
La place de l'arbre dans les sociétés sahélo-soudaniennes	16
Conséquences sur les modes d'intervention en faveur d'une reforestation	17
LA DENSIFICATION DU COUVERT ARBORE	19
Régénération, protection et multiplication des arbres à l'échelle locale	19
Quelques conditions d'efficacité et de durabilité de la densification	24
INVESTIR DANS LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES : COUTS ET BENEFICES	26
Evaluer la rentabilité économique des forêts sèches	26
La stratégie d'énergie domestique et les marchés ruraux de bois-énergie : un investissement profitable	28
Des projets réussis de LCD dans la région de Tahoua au Niger	28
CONCLUSION : DES POINTS A RETENIR	31
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	33
BIBLIOGRAPHIE	34
POUR EN SAVOIR PLUS...	38
Ouvrages et articles à consulter	38
Sites internet	39
Autres	39
LEXIQUE	40

PREAMBULE

L'initiative africaine sur la Grande Muraille Verte a rouvert le débat sur ce concept, sa signification dans le cadre de la lutte contre la désertification (LCD), son efficacité, son coût. Partant de connaissances fragmentaires et parfois anciennes sur les expériences passées, la communauté scientifique, les organisations de la société civile et les médias se sont interrogés et ont émis publiquement critiques et questions. En tant que chercheurs spécialistes de ces régions, nous ne pouvions pas rester indifférents au débat. Ce dossier tente de répondre à certaines interrogations à partir des connaissances disponibles.

Suite aux périodes de sécheresses qu'a connues l'Afrique (1958-1963, 1968-1974, 1984-1990), le monde a compris que la sécurité alimentaire des populations ne pourrait plus être assurée en raison de la fragilité des systèmes agricoles et des écosystèmes¹, et de la difficulté de maintenir la productivité des terres dans ces zones arides et semi-arides, en particulier dans la zone sahélienne, limitrophe du Sahara. Nous avons tous pris conscience des graves conséquences de la dégradation des terres pour ces populations locales dépendantes des ressources naturelles renouvelables et caractérisées par une croissance démographique rapide.

Dans ce contexte, les scientifiques et la société civile se sont mobilisés dans les années 70-80 en menant des projets et programmes d'appui au développement (reforestation, fixation des aires sableuses, récupération des sols dégradés, stockage et usage de l'eau...). Les succès n'ont pas toujours été au rendez-vous. Mais les enseignements tirés ont permis de mieux cerner la complexité écologique, technique et sociale de la question de la désertification. Grâce à cette accumulation d'expériences, nous bénéficions aujourd'hui de connaissances scientifiques et techniques solides à la fois en sciences agronomiques, en sciences naturelles et en sciences sociales et économiques qui permettent de mieux orienter les décisions d'aménagements et de gestion durable des territoires.

Forts de l'impulsion donnée par les scientifiques, les décideurs au plus haut niveau se sont aussi engagés à mettre en œuvre des moyens humains, techniques et financiers pour relever le défi de la LCD. La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULD) finalisée en 1994 à l'Unesco (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) à Paris, en est un aboutissement au niveau international.

Aujourd'hui, la LCD est toujours d'actualité et l'ambitieux projet de « Grande Muraille Verte » africaine en est la preuve. Elle est déjà mise en œuvre au Sénégal. Présentée comme une ceinture hétérogène de végétation multi-espèces, large de 15 km reliant Dakar à Djibouti sur une longueur d'environ 7 000 km, elle traverserait 11 pays : de la Mauritanie à Djibouti (UA *et al.*, 2008b). Au-delà de cette image de « plantations pour stopper le désert », il s'agit donc de bien plus que cela : un grand projet suscitant enthousiasme et interrogations.

Enthousiasme, car il s'agit d'une initiative africaine, impliquant tous les pays sahéliens, portée au plus haut niveau de décision politique, qui vise à reverdir une large bande de terres arides à semi-arides, affectée par la désertification, en adoptant des pratiques de gestion durable des terres.

Interrogations, parce qu'un projet d'une telle ampleur, mené dans plusieurs pays dont les conditions climatiques, écologiques, sociales, foncières, législatives, économiques, etc., sont différentes, nécessite une réflexion continue pour orienter au mieux les travaux sur le terrain, à l'échelle locale. Cette réflexion doit prendre en compte la valorisation des connaissances scientifiques et des expériences du passé dans ces régions en analysant leurs succès et leurs échecs.

Ce dossier souhaite apporter un éclairage s'appuyant sur les **principales connaissances scientifiques à mettre au service d'une telle initiative** et des questions sous-jacentes à traiter en priorité pour sa mise en œuvre opérationnelle et efficace. Il ne prétend pas apporter une synthèse exhaustive, mais un résumé factuel à l'usage des décideurs et responsables ainsi que du grand public.

¹ Les termes insérés dans le lexique (page 40) apparaissent en vert souligné dans le texte.

INTRODUCTION : DESERTIFICATION, GESTION DURABLE DES TERRES ET MURAILLES VERTES

Si l'image d'une muraille verte marque les esprits et l'imaginaire, la désertification ne peut être enrayée seulement par des plantations d'arbres, qui stopperaient le désert aux portes de la civilisation. Les porteurs de l'initiative en Afrique en sont conscients. Il s'agit en effet d'une idée reçue parmi d'autres sur le Sahara et la désertification, qui persiste aujourd'hui dans l'opinion publique.

Le **processus de désertification** est défini par la CNUCLD aux échelles régionales et locales comme « la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ».

La désertification désigne donc le déclin irréversible ou la destruction du potentiel biologique des terres et de leur capacité à supporter et à nourrir les populations. Ce processus met en avant la nécessité d'accroître le niveau de vie des sociétés les plus vulnérables en pérennisant le support de leur activité, la fertilité des terres, et en trouvant d'autres activités qui soulagent la pression sur les terres. La désertification est indissociable de la question du développement durable des zones sèches. Comme en témoignent les annexes de la Convention, cette notion s'applique sur tous les continents, principalement aux aires sèches dans lesquelles aridité et sécheresse sont deux données climatiques courantes.

D'après Requier-Desjardins & Caron, 2005.

Le Sahara est un désert déjà ancien !

Le Sahara est le plus vaste désert de latitude tropicale. D'après la découverte et l'analyse de formations dunaires paléoclimatiques au Tchad (Schuster *et al.*, 2006), il se serait formé il y a au moins 7 millions d'années. D'autres l'estiment à 25 millions d'années. S'il est difficile de délimiter précisément le Sahara (Rognon, 2000), les études géologiques et géomorphologiques ont montré que depuis des millénaires la limite du Sahara fluctue légèrement. Localement, il y a des avancées de sable et d'ensablement lié à l'érosion du sol.

Le Sahara n'avance pas mais les hommes créent des conditions désertiques au Sahel !

Si le Sahara est un écosystème désertique stable, le Sahel souffre de désertification. La désertification n'est pas l'envahissement par le désert. C'est la forme particulière que prend la dégradation des terres dans ces régions sèches où il pleut, de façon irrégulière et en faibles quantités (entre 100 et 600 mm par an).

La concentration de la population et le développement d'**activités agro-sylvo-pastorales** non adaptées en sont le principal moteur. Les ressources naturelles renouvelables (eau, sol, faune, flore) sont alors surexploitées sans leur laisser le temps de se régénérer, la sécheresse venant aggraver la dégradation des terres (Mainguet, 1994 et 1999 ; Mainguet et Da Silva, 1998 ; Jauffret, 2001).

Lutter contre la désertification n'est pas si simple !

Si certains slogans attractifs ont le pouvoir de marquer les esprits et de lancer la mobilisation tant des populations que des bailleurs de fonds, il est souhaitable d'éviter les clichés et les idées reçues porteurs de concepts simplifiés et donc contre-productifs. Les images les véhiculant peuvent, au final, transmettre une vision incomplète perturbant le choix des objectifs et actions à entreprendre.

Trois idées reçues à remettre en question

1. L'état de « désert » serait une « maladie » des écosystèmes sahéliens.

Le Sahara est parfois perçu comme une sorte de cancer qui gagnerait les zones voisines alors qu'il s'agit d'un écosystème parfaitement « sain » qui existait déjà sur notre planète bien avant l'homme et qui contribue, à l'instar des autres déserts du monde, de façon précieuse à sa diversité et sa richesse (biologique, paysagère, culturelle). Il ne constitue en rien l'expression d'un mauvais état de santé du milieu. Les changements du climat ont, par le passé, modifié son extension, et de nos jours les changements en cours peuvent en déplacer graduellement les limites Nord et Sud.

2. Une mer de sable serait en train d'envahir le Sahel.

Cette idée reçue, celle d'une mer de dunes sahariennes rampantes envahissant inexorablement le Sahel, est tout aussi fautive. En effet, ce n'est pas ce que les scientifiques observent. Il y a bien localement des mises en mouvement de certaines aires sableuses qui, lorsqu'elles sont près d'infrastructures ou d'habitations, les envahissent. C'est un phénomène local et régional qui peut être traité. Il ne s'agit donc pas d'un mouvement généralisé sur le continent qui devrait être stoppé comme un envahisseur. La désertification se produit sous forme diffuse au niveau local, et ses effets ne sont pas obligatoirement plus intenses à proximité du désert.

3. Une grande muraille d'arbres pourrait être installée dans des zones pas ou peu habitées.

La Grande Muraille Verte ne sera pas déployée en plein désert dans des zones pas ou peu habitées. Au contraire, le tracé envisagé passe par des régions habitées où l'agriculture et l'élevage sont déjà bien développés et distribués sur des terres selon les traditions locales (cf. carte page 7). Les populations doivent donc être associées à cette initiative en gardant à l'esprit la nécessité d'assurer à la fois des bénéfices environnementaux, sociaux et économiques durables.

La Lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrit dans une approche globale des questions d'environnement et de développement durables : accroître et diversifier les ressources pour permettre une élévation du niveau de vie des populations ; stabiliser les équilibres entre ressources et exploitation ; rétablir des cadres sociaux et politiques viables de gestion des ressources naturelles ; intensifier l'agriculture pour limiter les défriches, le surpâturage et la déforestation qui participent à la désertification (Cornet, 2002).

Parmi les questions qui s'imposent de prime abord :

☛ **Quels rôles peuvent jouer les arbres dans la gestion durable des terres ?**

Planter des arbres au Sahel est certainement un objectif utile. Dans certains cas, il peut être justifié de le faire sous forme de plantations forestières continues. L'arbre n'est qu'un des composants de l'aménagement et de la gestion durables des territoires et de leurs ressources. Cette gestion doit alors être prise en compte dans son contenu le plus large possible (eau, sol, flore, faune...) et idéalement sur la totalité du territoire. Dans un premier temps, de façon réaliste, cela ne peut concerner qu'une bande, aussi large que possible, en encourageant les initiatives à l'intérieur de celle-ci, mais aussi au-delà pour prendre en compte les spécificités nationales.

Qu'est ce que la gestion durable des terres ?

Lors du Sommet de la Terre de Rio (1992), la **gestion durable des terres** (GDT) a été définie comme « l'utilisation des ressources en terres, notamment des sols, de l'eau, des animaux et des plantes pour produire des biens et satisfaire les besoins humains sans cesse croissant, tout en préservant leur potentiel de production à long terme et leurs fonctions dans l'environnement ».

La GDT s'adresse donc à tous les secteurs du développement (agriculture, élevage, hydraulique, foresterie...). Elle répond aussi à des préoccupations environnementales globales en atténuant la vulnérabilité de la population vis-à-vis de la variabilité du climat et des changements climatiques et en assurant son adaptation (Woodfine, 2009), notamment par la préservation de la **biodiversité** et des **services** rendus par les écosystèmes.

➡ Où et comment agir ?

Où se situeraient les zones d'intervention et quelles en seraient les limites (climatiques, foncières, sociales...) ? Comment mener les activités agricoles, sylvicoles et pastorales pour gérer le territoire de manière durable et ce, avec tous les acteurs (agriculteurs, sylviculteurs, éleveurs...) ? Qui serait responsable de leur mise en œuvre ? Comment prendre en compte la question foncière (droit de propriété et d'usages) et les droits d'accès aux terres ? Comment l'initiative s'appuierait-elle sur le processus de décentralisation en cours ou en vigueur dans ces pays ? Qui bénéficierait des produits issus du projet (bois, fourrages, fruits, tanins, gommés, résines, miel...) ?

➡ Quel niveau d'implication des populations locales ?

Comment formuler le projet en identifiant avec les populations locales leurs problèmes majeurs de développement et d'environnement dans leur contexte ? Ne sont-elles pas les mieux placées pour identifier la multitude d'usages et de droits qui risquent d'être perturbés par l'intervention ? Et pour aider à l'identification des modes d'intervention qui pourraient conduire à l'amélioration de la situation des multiples parties prenantes ?

Autant de questions auxquelles les scientifiques peuvent apporter des éléments de réponse grâce aux connaissances et résultats de la recherche, mais aussi à des analyses et des suivis en accompagnement du projet.

Rappel chronologique des plus grands projets de barrage vert

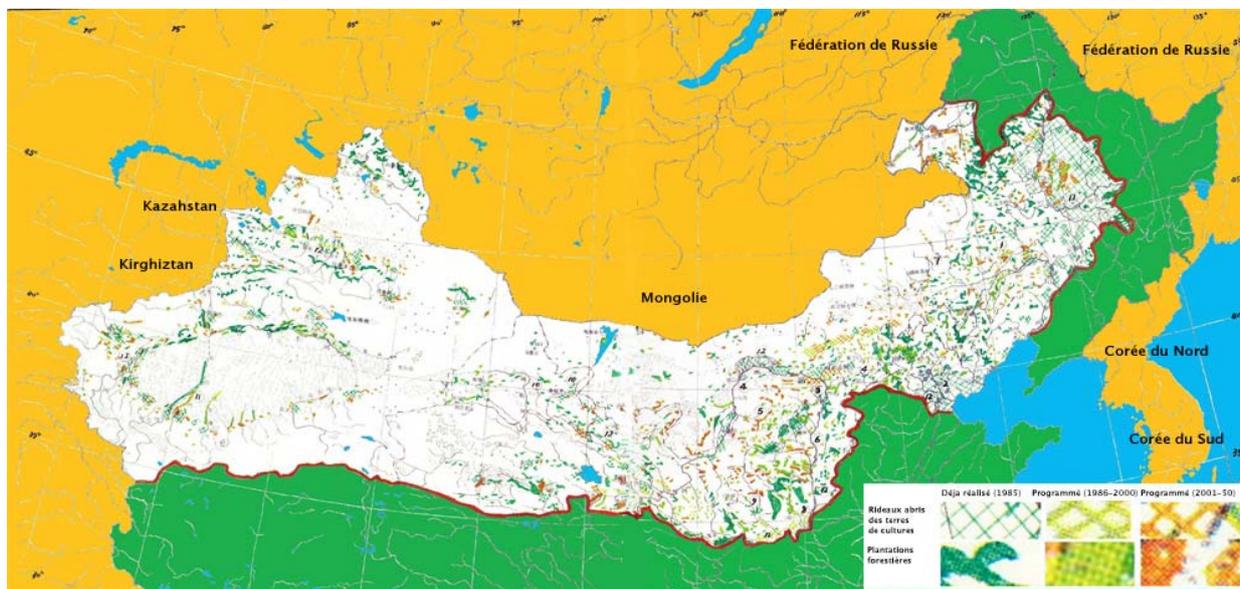
Les premiers barrages verts ont été réalisés aussi bien en Chine qu'en Algérie pour lutter contre les méfaits directs et indirects (socioéconomiques, santé...) engendrés par le vent : érosion éolienne, vents de sable et de poussières, ensablement.

La Grande Muraille Verte de Chine : une première initiative

Conscientes que la désertification était liée à la dégradation du couvert végétal et des sols plutôt qu'à l'avancée du désert de Gobi, les autorités chinoises ont entrepris dès 1978 un ambitieux programme d'aménagement intégré d'un vaste territoire qui s'inscrit dans un quadrilatère de plus de 4 000 km de long sur près de 1 000 km de large.

En 1989, le Président Deng Xiaoping a nommé ce programme « Grande muraille verte » en référence à l'antique « Grande Muraille de Chine », pour souligner l'ampleur des travaux, comparables à la construction de l'emblématique muraille. Il ne s'agissait en aucun cas d'un rempart contre le désert, mais bien d'un aménagement intégré, aussi bien agricole, pastoral que forestier. Le développement social et la réalisation d'infrastructures étaient aussi pris en compte. Il s'agissait de prévenir les effets néfastes de la dégradation des terres (Fang *et al.*, 2007) à l'origine de tempêtes de poussières dans les villes chinoises (Chen *et al.*, 2003). Le gouvernement avait planifié 60 milliards de yuan de dépenses (8,77 milliards USD) par an pour ses campagnes de plantation d'arbres. L'objectif de ce programme d'envergure était d'atteindre 20% de la superficie du pays couverte par des forêts avant 2010. Le développement économique, les conditions sociales et environnementales en Chine ont permis à 540 millions personnes d'être associées aux efforts de reboisement au cours de 2009 en plantant 2,31 milliards d'arbres (UA-UE, 2009).

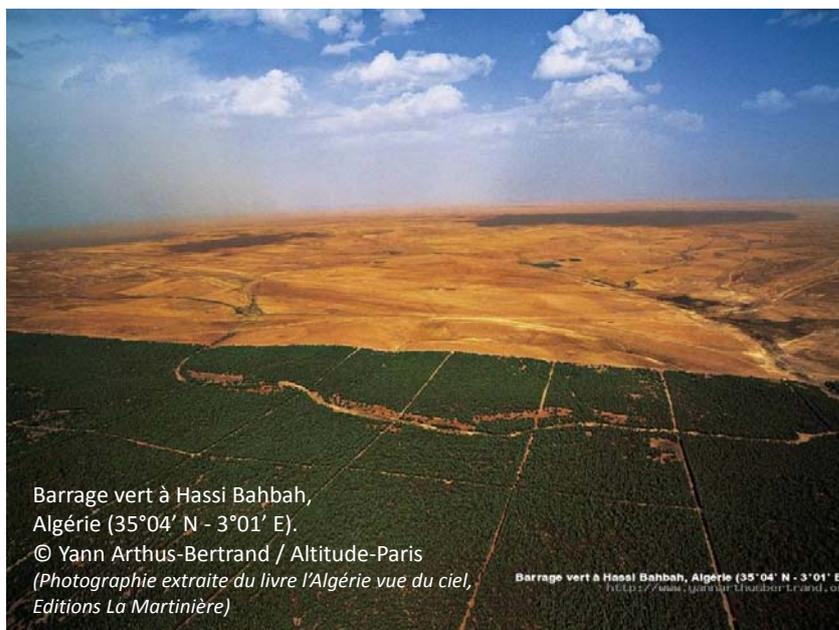
Bien que le projet ait été soutenu par une forte volonté politique, les problèmes sur le terrain furent nombreux : par exemple, les plantations forestières mono-spécifiques d'espèces peu ou non adaptées, sans tenir compte des variabilités du climat, des sols et du relief, ont engendré des taux de mortalité élevés d'arbres comme l'ont montré les dernières études publiées par des chercheurs chinois. Ces derniers insistent sur la nécessité d'utiliser des espèces locales (souvent des plantes steppiques) et recommandent de reconstituer les écosystèmes naturels adaptés aux conditions de la région, plutôt que de s'obstiner à planter des arbres où ils ont peu de chances de survivre (Cao *et al.*, 2010 ; Parungo *et al.*, 1994 ; Wang *et al.*, 2007 ; Wang *et al.*, 2010 ; Yu *et al.*, 2006). En 2000, le programme avait réalisé 22 millions d'hectares de régénération forestière par plantation (70%), de mise en défens (26%) et de semis aérien (4%). Ces réalisations comprenaient 67% de forêts de protection, 33% de forêts de production (bois d'œuvre 14%, rente –dont fruits– 16% et énergie 4%). Actuellement le programme s'oriente vers des notions de protection environnementale par « reverdissement » plutôt que par « plantation forestière ». On assiste à une promotion de l'utilisation de plantes buissonnantes et herbacées et à une diminution des spéculations commerciales. Les arbres de grand développement aérien ne sont plantés que dans les sites les plus favorables.



Carte globale de planification de mise en place de la Muraille verte de Chine dans le Nord-Ouest, le Nord et le Nord-Est de la Chine
D'après la carte publiée par le Bureau en charge de la construction de l'abri forestier des Trois Nord(s), 1989.

Le Barrage vert algérien

Depuis les années 1970, l'Algérie met en œuvre un programme national à la frontière du Sahara connu sous le nom de « barrage vert », visant à lutter contre la désertification (Belaaz, 2003). Au départ, il s'agissait d'un programme de reboisement de pin d'Alep, réalisée comme une action de génie civil par l'armée sur une bande aride est/ouest de 3 millions d'ha (1 500 km x 20 km), à vocation pastorale, comprise entre les isohyètes 200 et 300 mm. Le concept a ensuite progressivement évolué au cours du temps. Une approche intégrée agro-sylvo-pastorale du « barrage vert » avait été défendue dès 1976 par la communauté scientifique (MADR, 2004), mais il n'en a pas été tenu compte.



Barrage vert à Hassi Bahbah, Algérie (35°04' N - 3°01' E).
© Yann Arthus-Bertrand / Altitude-Paris
(Photographie extraite du livre *l'Algérie vue du ciel*, Editions La Martinière)

Les défrichements précédant le reboisement monospécifique ont donc engendré des perturbations écologiques et sociales, et les résultats furent en deçà de ce qui était attendu. A partir de 1980, le concept de barrage vert a évolué vers un ensemble d'actions de développement agro-sylvo-pastoral. Treize espèces ont alors été utilisées pour effectuer les reboisements. Le programme était mis en œuvre conjointement par l'armée et les services forestiers. En vingt ans, 120 000 ha de boisement ont été réalisés sur les 160 000 ha planifiés, le taux de réussite des plantations ne dépassant pas 42% (Bensaïd, 1995). Délaissé au début des années 1990, le concept de barrage vert est repris à partir de 1995 et les actions de reboisement sont intégrées au « programme national de développement agricole et rural ». Elles ont été réalisées dans des secteurs qui en ont l'aptitude (sols profonds et disponibilité de l'eau pour l'irrigation). Le concept du barrage vert a évolué vers une bande *discontinue* associant des cultures irriguées à haute valeur ajoutée, des parcours aménagés et des plantations forestières. Les objectifs de fixation des dunes et de gestion durable des parcours demeurent et sont combinés aux actions de développement des infrastructures et d'amélioration durable des revenus des populations. Les agglomérations et les routes font l'objet d'aménagements spécifiques, comparables à ceux décrits au titre des ceintures vertes (Mellouhi, 2006).

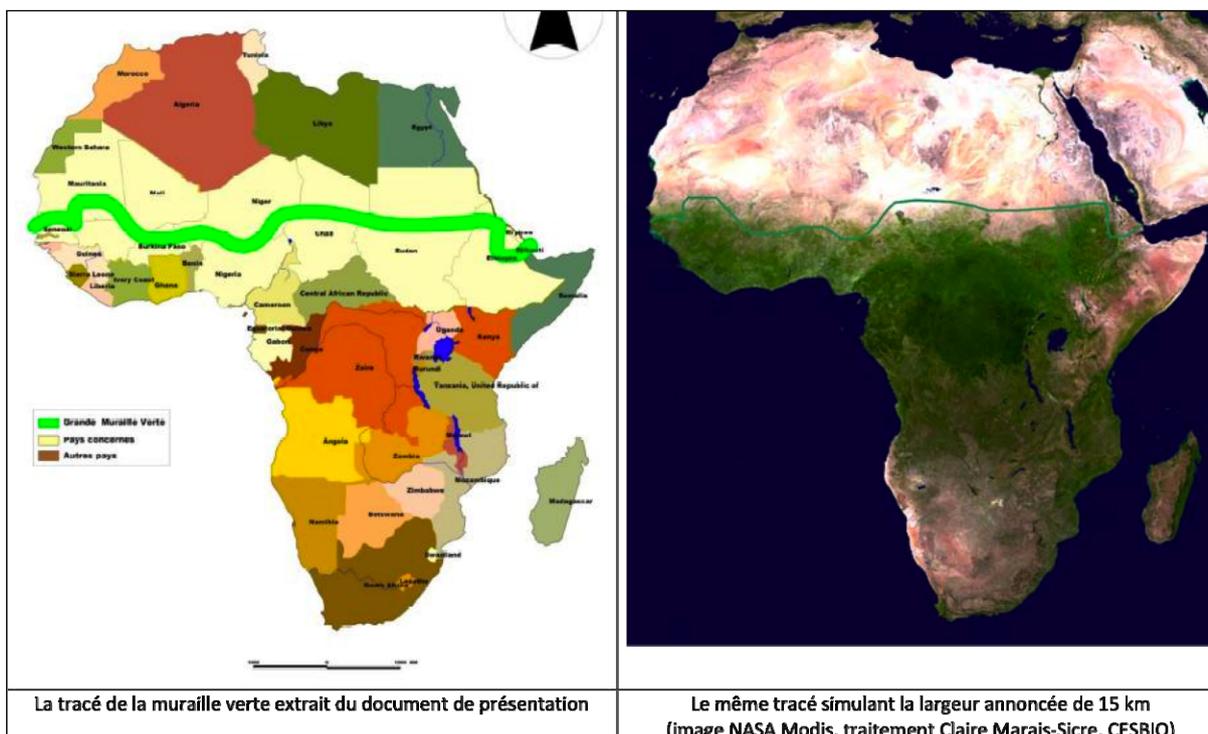
L'initiative « Grande Muraille Verte panafricaine »

L'initiative de la « Grande Muraille Verte » (GMV), panafricaine et transcontinentale, a été initialement proposée comme une bande « forestière » large de 15 km traversant le continent suivant un tracé reliant Dakar à Djibouti, pour en faire un projet majeur de LCD. Elle formerait alors une bande continue, mais pouvant prendre certains contours pour éviter des obstacles (cours d'eau, sols rocaillieux, montagnes) ou rejoindre des zones habitées (voir grandemurailleverte.org). Or les expériences anciennes de plantation continue (cf. le barrage vert algérien) dans des conditions climatiques défavorables ne militent pas en faveur d'une telle approche. La carte ci-après illustre le tracé initialement proposé (à gauche) et une simulation de la GMV vue de l'espace (à droite) si elle se matérialisait effectivement comme une bande forestière continue de 15 km de large à travers le continent.

Toutefois, la note conceptuelle de la GMV (UA *et al.*, 2008a) précise qu'il s'agit en fait de **réaliser l'installation et la mise en valeur intégrée d'espèces végétales à valeur économique et adaptées à la sécheresse, de bassins de rétention, de systèmes de production agricole et autres activités génératrices de revenus, ainsi que des infrastructures sociales de base**. Elle intègre plusieurs systèmes d'utilisation des terres et d'aménagement :

- des formations naturelles ;
- des plantations artificielles anciennes ;
- des unités de production agro-sylvo-pastorales ;
- des secteurs de parcours ;
- des aires protégées ;
- un ensemble de bassins de rétention longeant le parcours de la GMV ;
- des infrastructures sociales de base dans les zones d'emprise de la GMV.

Les unités aménagées seront gérées par les populations locales individuellement ou en groupe, des producteurs privés, des collectivités locales ou encore par les services forestiers.



Le tracé initialement proposé pour la GMV (d'après UA *et al.*, 2008b).

« La GMV n'est pas conçue comme un mur d'arbre courant de part et d'autre du Sahara mais plutôt comme un ensemble d'actions et d'interventions multisectorielles de conservation et de protection des ressources naturelles à des fins de lutte contre la pauvreté » (OSS, 2008). Les informations rassemblées dans cette note vont dans ce sens.

INTERET DES ARBRES EN MILIEU SEMI-ARIDE

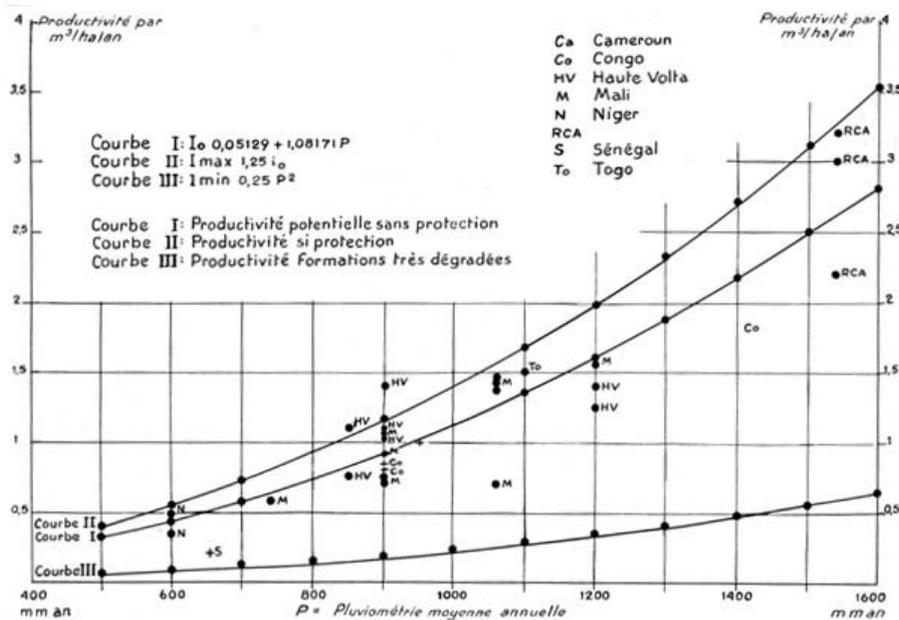
L'intérêt des arbres en milieu semi-aride repose sur :

- la production de biomasse et son utilisation
- Le rôle des arbres dans le fonctionnement des écosystèmes
- La place de l'arbre dans la lutte contre l'érosion éolienne et hydrique

Production et utilisation de la biomasse forestière

La biomasse est définie par les biologistes comme la masse de tous les organismes vivants en un lieu donné. Il s'agit d'un indicateur important de la dynamique des écosystèmes. La biomasse végétale produite par un arbre constitue généralement la motivation première pour le planter. L'arbre et ses productions diverses jouent aussi un rôle de premier plan pour les populations. Les données sur la productivité des écosystèmes forestiers des zones tropicales sèches sont rares et, à l'exception de quelques études (Poupon, 1976 ; Bellefontaine *et al.*, 2000 ; Peltier *et al.*, 2009), les mesures passées ont porté essentiellement sur la biomasse ligneuse « gros bois » (troncs et grosses branches d'un diamètre supérieur à 10 cm) et plus rarement sur des diamètres inférieurs à 5 cm.

Clément (1982) a compilé les résultats d'études réalisées dans huit pays soudano-sahéliens d'Afrique de l'Ouest et a établi des valeurs de référence sur la productivité potentielle des peuplements soumis à trois types de situation (sans protection, protégés des feux de brousse ou aménagés, dégradés). Ces courbes (*figure ci-dessous*) restent une référence, bien que des études ultérieures aient montré que la productivité potentielle pour une pluviosité donnée avait été sous-estimée. De plus, la production des forêts des zones tropicales sèches ne se limite pas à la seule production ligneuse. Les productivités fourragères, fruitières, gommifières et des autres produits forestiers non ligneux, restent à évaluer. Si la rentabilité de la forêt naturelle a été jugée mauvaise par certains économistes ou techniciens, l'ensemble de ces productions a un intérêt indéniable pour les populations locales.



Productivité potentielle de peuplements forestiers soumis à trois types de situations (sans protection, protégés des feux de brousse ou aménagés, dégradés) en fonction de la pluviosité moyenne annuelle (Clément, 1982)

Concernant la biomasse ligneuse, deux utilisations principales sont à retenir :

- **Le bois énergie** : en zones rurales, le bois est la principale source d'énergie domestique (cuisine et chauffage). Les quantités nécessaires obligent les villageois à aller en chercher de plus en plus loin au fur et à mesure que les arbres des abords des agglomérations sont coupés. Plus facilement transportable, le charbon de bois est vendu aux citadins. C'est un produit très demandé, qui génère rapidement un revenu, mais de façon non durable : les arbres sont coupés sans se préoccuper de leur renouvellement. Dans les deux cas, le rendement de la conversion de biomasse en énergie est bas et source de pollution. De meilleurs rendements peuvent être atteints avec des techniques simples (p. ex. fourneaux améliorés, Doat, 1982) tout en divisant la consommation en bois par deux ou trois. Ceci diminue d'autant la pollution et la pression de coupe d'arbres pour l'usage domestique de bois de feu qui reste la principale consommation de biomasse (Minvielle, 1999 ; Girard, 2002).
- **Le bois de construction** : consommé localement, le bois est utilisé pour la construction de clôtures, palissades, charpentes, cases et pour la confection d'ustensiles.

La biomasse non ligneuse permet, quant à elle, de disposer de fourrage pour le bétail, de substances alimentaires et médicinales pour les populations comme les feuilles (source de protéines), les fruits, le miel, les gommés et les résines ainsi que des matières premières pour l'artisanat comme des fibres et des tanins, etc.

Produits forestiers non ligneux et médecine traditionnelle

Des usages médicinaux sont connus pour un grand nombre d'espèces végétales de la flore soudano-sahélienne (Kerharo et Adam, 1974). A titre d'exemples, citons :

- La gomme arabique, exsudat essentiellement d'*Acacia senegal*, connue depuis l'Antiquité (Egypte) est exploitée sur la côte ouest-africaine depuis le XV^{ème} siècle. Outre son usage massif comme additif alimentaire, elle entre dans la composition de nombreux médicaments. Des études récentes lui attribuent un rôle préventif pour les maladies rénales chez les populations sahéliennes qui en consomment traditionnellement.
- Le kinkeliba, *Combretum micranthum*, utilisé aussi bien en médecine locale que par la pharmacopée moderne.

Arbres et élevage : le sylvopastoralisme

Les pasteurs et leurs troupeaux sont souvent présentés comme les ennemis des arbres. En fait, ils en ont besoin et en prennent souvent soin, sauf dans les situations de crise. Dans les parcours normalement exploités par les pasteurs, **l'arbre est considéré comme une ressource communautaire au même titre que l'herbe et une grande variété d'espèces végétales est généralement conservée**. Les éleveurs font ainsi usage de la strate herbacée en saison humide, de la strate arbustive en milieu de saison sèche et de la strate arborée en fin de saison sèche. L'éleveur nomade joue sur les complémentarités des végétations dans le choix des parcours faisant paître le troupeau dans des écosystèmes aux espèces fourragères diversifiées, mettant aussi à profit son expérience et ses observations du milieu. Dans des zones plus humides, certains agro-éleveurs ont façonné un paysage de bocages composés de haies soigneusement entretenues et aux fonctions variées (Fouta Djallon, Guinée).

La plantation de cultures fourragères arborées encore peu développée devrait être encouragée.

Cependant, en zones semi-arides, le surpâturage répété peut provoquer une régression de la végétation ligneuse lorsque le nombre de têtes de bétail est trop élevé et l'espace réduit. En période de crise, la coupe excessive des arbres peut entraîner une dégradation de la strate ligneuse. La résilience naturelle des écosystèmes sahéliens favorise parfois une régénération de certaines espèces feuillues, soit par dissémination de semences, soit par voie végétative.

Voir aussi Lhoste, 1995 ; Basset et Boutrais, 2000 ; D'Aquino, 2000.

Fonctionnement des écosystèmes

Parmi les nombreux effets bénéfiques des arbres, se distinguent :

☛ L'amélioration des caractéristiques physiques du milieu

- Sous l'effet de leurs systèmes racinaires développés, les arbres notamment en milieux secs, améliorent la structure des sols qui deviennent plus meubles, plus profonds, formant un meilleur support pour les cultures.
- En améliorant la porosité des sols, les arbres favorisent l'infiltration des eaux de pluie. Leur feuillage et la litière protègent la surface du sol de l'impact direct de la pluie, diminuant son érosivité.
- La partie aérienne des arbres atténue les effets du vent, formant des brise-vent naturels qui contribuent à limiter l'abrasion des sols et donc à lutter contre l'érosion éolienne.
- Sous leurs frondaisons, certaines essences créent des conditions microclimatiques plus favorables qui ont un impact sur l'environnement immédiat (notamment la densité du couvert végétal).

☛ Les effets de nature biologique

- L'enrichissement du sol en matière organique et la régulation du microclimat par les arbres permettent d'avoir des conditions favorables au développement d'une certaine diversité animale tant aérienne que souterraine.
- Les arbres favorisent la végétation herbacée et sa diversité, tout en augmentant la biomasse produite et en améliorant la régénération (p. ex. dans le Ferlo sénégalais, Grouzis et Akpo, 2003). Les arbres permettent ainsi d'augmenter les rendements des cultures sous ombrage.
- Certaines espèces d'arbres ont la capacité grâce aux symbioses qu'elles développent (avec des bactéries symbiotiques ou des champignons [ectomycorhiziens](#)) d'améliorer leur nutrition minérale et la fertilité des sols au travers notamment de la fixation d'azote de l'air. C'est un critère intéressant dans le choix des espèces ligneuses à planter dans les sols pauvres des régions sahéliennes (Dia *et al.*, 2010).
- Les arbres absorbent des quantités importantes de CO₂ et le stockent dans leur biomasse et dans le sol pour de longues périodes. Ils jouent ainsi le rôle de puits de carbone. Le potentiel de séquestration de carbone dans les systèmes agroforestiers traditionnels ou améliorés a été démontré (Polglase *et al.*, 2000 ; Farage *et al.*, 2007 ; Takimoto *et al.*, 2008 ; Nair *et al.*, 2009 ; Skutsch et Ba, 2010).

Il ne faut cependant pas occulter les impacts négatifs de certaines plantations :

- Certaines litières contiennent des produits relativement toxiques. C'est le cas des plantations d'Eucalyptus qui engendrent la diminution de la diversité floristique sous leur couvert.
- D'autres sont des espèces invasives (p. ex. *Prosopis* en zones sahéliennes) entraînant une dégradation des écosystèmes.
- Par ailleurs, certains arbres par leur développement aérien ou racinaire superficiel peuvent augmenter les pertes en eau et concurrencer les cultures.

Le choix des espèces à planter est donc primordial, les espèces autochtones, bien adaptées doivent être favorisées (Weber *et al.*, 2008).

La restauration de la fertilité des sols

Le rôle des forêts et des arbres dans la restauration de la fertilité des sols est bien connu. Certaines espèces fixent l'azote atmosphérique mais tous les arbres contribuent à restaurer la fertilité des sols en recyclant les éléments nutritifs lessivés en profondeur par les pluies, hors d'atteinte des racines des plantes cultivées, capturés par leurs racines profondes et restitués aux horizons superficiels du sol lors de la chute des feuilles. En outre, les racines des arbres ameublissent le sol et permettent une activité biologique permanente du sol tout au long de l'année. Il ne faut pas sous estimer l'apport constitué par les éléments capturés par le feuillage des arbres filtrant les poussières atmosphériques et par les déjections des animaux (le bétail mais aussi la faune sauvage, y compris les mammifères, les oiseaux et les insectes) attirés par l'abri et l'ombrage des arbres. C'est pourquoi, même les arbres qui ne fixent pas l'azote peuvent être utilisés en [agroforesterie](#) et dans les programmes de restauration de la fertilité des sols.

Les agriculteurs utilisent traditionnellement cette capacité par la jachère arborée (mise au repos pendant plusieurs années des terres de culture) et par la constitution de parcs arborés, de haies vives et de brise-vent. En effet, les systèmes agroforestiers et agro-sylvo-pastoraux comprennent l'association des arbres, des cultures et

du pâturage soit simultanément sur des espaces contigus, soit successivement dans le temps, sur un même espace.

Les arbres contribuent au maintien des conditions nécessaires aux activités agricoles et pastorales et fournissent des sources complémentaires de revenus aux populations. Aussi, tout aménagement responsable des arbres et des forêts en terres arides doit prendre en compte toutes les productions et tous les services potentiels qu'ils peuvent fournir. En fournissant des biens et des services aux pauvres des zones arides rurales et en contribuant à la diversification de leurs sources de revenus, les forêts et les arbres contribuent à l'atténuation de la pauvreté et à la réduction de l'insécurité alimentaire.

Les arbres constituent un abri et une source de nourriture pour la faune sauvage et un refuge pour la diversité biologique. Ils sont aussi appréciés par les populations pour leur ombrage, leur valeur ornementale autour de leurs habitations.

Valorisation de la symbiose mycorhizienne en milieu aride et semi-aride

Le processus de désertification se manifeste principalement par des perturbations au niveau de la structure du couvert végétal se traduisant par une diminution du degré de recouvrement du milieu par les plantes et de la diversité végétale de l'écosystème entraînant une fragilisation du sol et plus particulièrement une augmentation de l'impact de l'érosion éolienne et hydrique sur la couche superficielle du sol. Le sol se trouve fragilisé avec une baisse de sa fertilité caractérisée par une diminution des teneurs en matière organique, des macro et micro-éléments nécessaires au développement des plantes mais également des perturbations notoires dans les mécanismes assurant le déroulement des principaux cycles biogéochimiques (C, N et P) assurant la fertilité tellurique. Parmi les composantes biologiques impliquées dans le fonctionnement biologique des sols figurent les champignons mycorhiziens considérés comme un des acteurs microbiens clés de l'évolution spatio-temporelle des écosystèmes végétaux terrestres en jouant un rôle majeur dans les mécanismes assurant la productivité et la stabilité de la strate épigée. Ils améliorent la croissance de la plante à laquelle ils sont associés, en optimisant la nutrition minérale du végétal mais aussi en le protégeant de l'impact de différents stress d'origine biotique (ex : nématodes phytoparasites, champignons phytopathogènes) ou abiotique (stress hydrique ou salin). Etant des symbiotes stricts ne pouvant se multiplier sans la présence de la plante, l'impact de la désertification et des perturbations au niveau de la strate épigée se traduit principalement par une baisse de l'abondance et de la diversité génétique et fonctionnelle des communautés fongiques symbiotiques du sol (Duponnois *et al.*, 2001).

Afin de recouvrer la fonction de la symbiose mycorhizienne au niveau du couvert végétal, il est ainsi possible de promouvoir le développement des symbiotes fongiques *via* deux stratégies d'ingénierie écologique, à savoir : (i) l'utilisation de plantes natives du milieu (ou « plantes nurses ») susceptibles d'agir comme des vecteurs de multiplication des symbiotes mycorhiziens dans le sol (Duponnois *et al.*, 2011) ou (ii) introduire massivement dans le sol un symbiote fongique préalablement sélectionné pour un paramètre biologique donné (ex : effet sur la nutrition minérale de la plante et sa croissance), approche dénommée « mycorhization contrôlée » (Duponnois *et al.*, 2005, 2007). Des expériences réalisées en milieu aride et semi-aride sur des plantes natives ou exotiques ont montré le réel potentiel de ces techniques culturelles pour contrecarrer les effets de la désertification. Cependant, force est de constater que la valorisation des champignons mycorhiziens dans les opérations de réhabilitation des sols et de lutte contre la désertification, reste encore peu utilisée. Un effort conséquent de vulgarisation et de transfert de connaissances aux hommes de l'art est nécessaire en leur proposant des approches techniques compatibles avec les caractéristiques écologiques et socio-économiques du site à réhabiliter. Le projet de la Grande Muraille Verte offre une réelle opportunité pour atteindre ces objectifs et ainsi valoriser ces symbiotes mycorhiziens longtemps considérés comme des objets de laboratoire mais en aucun cas comme des outils performants pouvant contribuer à une réhabilitation durable des milieux sahéliens.

La place de l'arbre dans la lutte contre l'érosion

L'érosion éolienne

L'action du vent sur l'environnement des régions sèches est certainement une de leurs caractéristiques importantes. Le plus souvent sec et chaud, il favorise l'évaporation de l'eau et la transpiration des plantes. Mais il devient une vraie menace pour ces milieux lorsqu'il est chargé de poussières et de sables, particules qu'il arrache, transporte et dépose : c'est l'érosion éolienne.

L'érosion éolienne s'organise selon deux échelles :

1. Effets à l'échelle locale : ensablement et la formation de dunes

La formation de nouveaux dépôts de sable sous forme de dunes résulte le plus souvent de la mise en mouvement de sols sableux « voisins » perturbés par des labours et/ou par le pâturage et le piétinement du bétail. La connaissance du régime des vents alimentant le circuit des particules depuis ces zones sources, de la zone de transit, de la topographie et des obstacles provoquant le dépôt, est indispensable pour juguler l'extension de ces dépôts lorsqu'ils posent problème (abords d'agglomérations ou d'infrastructures, zones irriguées, jardins, oasis...) (Mainguet et Dumay, 2006). Dans ce contexte, la plantation directe d'arbres dans des dunes actives des zones de dépôts, dont le sable est mobile et réalimenté, est vouée à l'échec. Si la diminution de la production de sable dans les zones sources n'est pas envisageable, il faut alors tenter de créer des obstacles dans la zone de transit pour accumuler le sable à un endroit où il est moins gênant, ce qui limite l'alimentation de la zone actuelle de dépôt problématique. Lorsqu'il faut absolument fixer des dunes vives menaçantes, la première étape est l'implantation d'obstacles mécaniques, pour ralentir le sable à la surface (p. ex. carroyages en palmes), pour permettre ensuite la plantation de graminées fixatrices. Cela favorise l'activité biologique et une croûte algale peut s'installer en surface, stabilisant le sable. La plantation d'arbres concomitante est alors possible et souvent réussie. Le problème de la lutte contre l'érosion éolienne est complexe. Les bandes forestières pour se protéger des sables en mouvement sont une des techniques utilisées.

2. Effets à distance, à l'échelle continentale : production de poussières envahissant l'atmosphère sous forme de vents ou tempêtes de fines particules et circulant sur de très grandes distances

Les vents de sable affectent de bien plus larges surfaces que les dunes mobiles et une population bien plus nombreuse. Les efforts de plantation de la muraille verte chinoise ont ainsi été motivés par la protection des grandes villes chinoises (dont la capitale Pékin) contre les vents de sable et de poussières. Ils perturbent sérieusement les transports aériens mais créent aussi de gros problèmes de santé (voies respiratoires). Ainsi, au niveau transcontinental, les bilans récents montrent que l'Amazonie, dont les sols sont très pauvres, bénéficie d'apports considérables en éléments fertilisants en provenance d'Afrique grâce aux poussières sahariennes transportées (Bristow *et al.*, 2010). Ainsi, ces poussières n'ont pas que des effets négatifs. Il est même envisageable qu'un projet de stabilisation et de fixation de certaines zones sources puisse avoir un effet négatif sur la fertilité des zones « puits ». Le bilan entre effets positifs et négatifs est donc variable selon l'échelle et selon le sujet de préoccupation : santé, trafic aérien ou fertilité des zones humides.

Voir aussi : Brenner *et al.*, 1995 ; Tengberg, 1995 ; Mohammed *et al.*, 1996 ; Biolders *et al.*, 2004 ; Lamers *et al.*, 1994 ; Cornelis et Gabriels, 2005 ; Laurent *et al.*, 2008 ; Goudie, 2009.

A propos de la dynamique éolienne...

La lutte contre l'érosion éolienne exige de faire la différence entre courant éolien (air en mouvement) et flux sableux (courant d'air transporteur de particules en saltation et en suspension). Les courants éoliens au Sahara balayent le désert et le Sahel dans son entier du NE au SW avant de prendre au niveau du Tropique du Cancer une direction ENE-WSW. Le long de ces courants éoliens, le vent se charge et se décharge de son sable selon le mécanisme physique de substitution de charge. Si les courants éoliens ont souvent une amorce lointaine d'échelle régionale, les flux sableux sont locaux et rarement régionaux (Mainguet *et al.*, 2000).

Plantés dans des aires d'omniprésence d'activité éolienne, il serait utile que les dispositifs revégétalisés de protection soient conçus à la fois comme un instrument de LCD et contre un des mécanismes majeurs de cette désertification : l'érosion éolienne notamment dans les aires sableuses.

Un dispositif revégétalisé de protection établi dans des aires sèches à substrat sableux—ce qui représente 20% au Sahara et 50 à 60% dans le Sahel au sud de ce désert—peut être élaboré comme un outil de contrôle de flux éoliens d'arrivage sableux, de surface de sable vif, de dunes mobiles et de lutte contre l'ensablement des infrastructures humaines.

Les premiers dispositifs revégétalisés de protection ont été réalisés précisément pour lutter contre l'érosion éolienne, l'ensablement et les vents de poussières. C'est le cas des trois programmes de la Chine septentrionale (Wang *et al.*, 2010). Les chinois ont compris l'intérêt de ces dispositifs dans les aires-sources de vents de poussières.

La lutte contre l'érosion éolienne peut se concevoir selon trois volets :

- La lutte contre la déflation : c'est-à-dire l'entraînement éolien de particules argilo-limoneuses (ou *silt* des anglo-saxons) et sableuses de diamètre de 2 à 500 micromètres. Au-delà de cette dimension, la compétence éolienne est incapable de soulever des particules.
- La lutte contre les dunes vives (notamment les barkhanes et les sifs).
- La lutte contre l'ensablement.

1. La déflation éolienne dans les aires sources et le transport de sable par saltation (sauts successifs des particules sableuses) dans les aires de transport peuvent être combattus par deux formes de barrage vert : soit sous forme de couverture arborée / bande boisée ou de barrières boisées répétées. Dans le bassin de l'Aral, le long du canal de Karakoum, la déflation a été atténuée puis supprimée lorsque, bénéficiant de la remontée des eaux souterraines, un couvert végétal s'est installé générant une forêt galerie anthropique sur des terres auparavant dénudées. Les barrières répétitives constituent des pièges à sable plus efficaces que les surfaces boisées continues. La principale difficulté est l'estimation de la largeur de l'espace interbande qui peut atteindre de 10 à 25 fois la hauteur des arbres de la bande boisée. D'autres difficultés apparaissent :

- le choix des essences végétales qui devront résister à des sécheresses récurrentes, à l'arrivage de flux volumineux de sable en mouvement ;
- la résistance au pâturage ;
- la capacité d'adaptation à la salinité des sols et de l'eau.

2. Un dispositif revégétalisé de protection peut être conçu pour **lutter contre des dunes mobiles**, comme les barkhanes, ou de dunes grandissant par élongation comme les sifs (dunes linéaires). Le combat contre les risques engendrés par la dynamique dunaire est plus difficile à mener que celui contre le sable mobile. Deux familles de solution existent :

- Supprimer ou remodeler les dunes : cela est possible pour de jeunes barkhanes de un à quelques mètres de hauteur. La Chine depuis 5 000 ans contrarie la genèse barkhanique par la plantation d'un tapis herbacé dans les surfaces interdunaires. Ce tapis herbacé piège le sable sous forme de voile ou de nappe sableuse empêchant de nouveaux édifices de se former dans un flux sableux.
- Immobiliser les surfaces dunaires par un tapis végétal ou un traitement chimique : le sif se prête bien au reboisement.

3. Les ceintures vertes pour lutter contre l'ensablement des infrastructures humaines.

Les dispositifs établis en amont (dans le sens du vent) d'aires à risque d'ensablement peuvent constituer un moyen utile de lutte contre cet ensablement. L'ensablement n'est qu'une forme d'accumulation éolienne de sable lorsqu'un obstacle—une oasis et sa palmeraie, une route, une voie ferrée, un canal—s'interpose sur le chemin d'un flux sableux. Un dispositif revégétalisé de protection établi dans un flux sableux en amont d'aires à risque d'ensablement, peut constituer une réponse efficace pour empêcher les infrastructures humaines de s'ensabler.

Un dispositif revégétalisé de protection exige une maintenance. Lorsque les végétaux disparaissent du fait d'une cause naturelle (sécheresse) ou que le milieu est dégradé du fait d'une cause humaine (transformation en dépôt d'ordures), le sable précédemment accumulé devient instable, aisément mobilisable par la déflation. Des *blow-out* s'y développent, des dunes paraboliques mobiles dangereuses sont générées.

Les différents programmes de lutte contre l'ensablement sont soucieux du choix des essences végétales, les arbres sont préférés aux végétaux arbustifs, buissonnants, herbacés ou graminéens. Mais nous estimons que ce n'est là que moindre mal. En effet, la difficulté majeure d'utilisation d'un dispositif revégétalisé de protection pour combattre l'ensablement par avancée dunaire ainsi que les risques que ces édifices font encourir aux activités et infrastructures humaines résident plus dans le choix de la localisation des plantations et dans leur disposition à adopter (lignes parallèles, quadrillage, etc.).

L'érosion hydrique

Les régions dites "sèches", qui nous intéressent ici, ne correspondent pas à des régions sans eau ou sans pluies (qui sont les déserts absolus) mais celles où les pluies ne parviennent à couvrir au mieux que les deux tiers du pouvoir évaporant de l'air (la pluviosité est inférieure ou égale à 65% de l'évapotranspiration). S'il y a clairement une saison des pluies au Sahel (on parle de la "mousson africaine") les pluies y sont pourtant plutôt irrégulières, ce qui se traduit par des années plus sèches ou plus humides que la moyenne, et aussi des épisodes pluvieux

variables en intensité, et dans leur localisation (Baudena & Provenzale, 2008 ; Boulain *et al.*, 2009). Les pluies les plus intenses, formées de grosses gouttes ont un pouvoir érosif élevé sur les sols : peu stables et peu protégés, ils sont alors décapés, c'est l'érosion hydrique. A cause de son mécanisme, de façon regrettable l'érosion affecte le plus souvent la couche la plus supérieure des sols, qui est la plus riche en matières organiques, responsable de leur fertilité. Lorsque les terres n'arrivent pas à absorber toute l'eau, celle-ci ruisselle et se concentre dans les zones d'écoulement, griffant les sols, dévalant les pentes, formant des ravines ; en aval de larges surfaces peuvent se retrouver sous l'eau (Bull & Kirkby, 2002). Des inondations dramatiques surprennent ainsi des villes du Sahel, comme cela a été encore le cas récemment à Ouagadougou et à Agadez, à l'automne 2009. Les particules de sols arrachées en amont s'accumulent en aval sous forme de sédiments, ce qui pose aussi des difficultés lorsqu'ils sont trop importants et concentrés sur des superficies réduites, le cas plus visible étant le colmatage des barrages.

Dans ce contexte, les arbres ont un rôle important dans la protection de ces paysages contre l'érosion hydrique (Boulain *et al.*, 2009 ; Michaelides *et al.*, 2009 ; Puigdefabregas, 2005 ; Sandercock & Hooke, 2010). On peut distinguer :

- Une action **directe** de protection des sols contre l'impact des gouttes de pluies, par leur feuillage qui les intercepte et dans une moindre mesure, l'effet brise vent, qui ralentit les rafales de pluies. Les arbres ont aussi une action mécanique par leurs racines, en créant des chemins qui améliorent la perméabilité des sols, mais aussi en améliorant leur cohésion grâce au chevelu des ramifications et l'effet bénéfique de la rhizosphère.
- Un effet **indirect** par l'amélioration de la stabilité de la surface des sols par la litière et l'humus issu de la décomposition des feuilles et brindilles tombées à terre. La stimulation de l'activité biologique augmente aussi la porosité et donc la capacité à infiltrer l'eau.

Les effets protecteurs des arbres contre l'érosion hydrique se manifestent bien sûr dans les forêts et autres formations ligneuses naturelles ou créées. La plantation d'arbres est souvent associée à la réalisation d'ouvrages de conservation des eaux et des sols, tels que les cordons pierreux, les diguettes, les demi-lunes et les terrasses. Les arbres ont alors un effet stabilisateur des ouvrages de lutte contre l'érosion, en augmentant la rétention d'eau et en ralentissant le ruissellement (Volhand & Barry, 2009). Cet effet peut être utilisé pour augmenter la couverture arborée, comme l'illustre l'exemple du **zai** forestier. Plus généralement, il est très exploité en **agroforesterie**, où la protection contre l'érosion est un des effets bénéfiques des arbres sur les cultures annuelles.

Le **zai** : une technique pour lutter contre l'érosion hydrique

La forte intensité des pluies au Sahel provoque une érosion intense des sols lorsqu'ils sont peu protégés. Les techniques de lutte contre l'érosion hydrique telles que les terrasses, les cordons pierreux, les demi-lunes, associent avec profit les arbres et arbustes notamment pour stabiliser les sols. Les arbres judicieusement plantés sont donc un des outils de lutte contre l'érosion hydrique facilitant, en outre, l'installation d'autres plantes stabilisant la surface, et protégeant les sols de l'impact des pluies. Une des illustrations les plus parlantes en est le « **zai** forestier » (Koutou *et al.*, 2007). C'est une technique traditionnelle de culture en poquet qui permet de concentrer l'eau et la fumure dans des microbassins où les graines seront semées. Cette technique simple a pour objectifs de :

- permettre la mise en valeur des espaces dénudés ou abandonnés ;
- réduire l'érosion hydrique et favoriser l'infiltration sur les sols imperméables ;
- obtenir des récoltes normales en dessous de 300 mm de précipitations ;
- collecter les eaux et les mettre à la disposition des plantes.

Elle permet d'augmenter la superficie cultivable à faibles coûts et s'applique préférentiellement sur les terres dégradées, les glacis et les plateaux latéritiques. Le **zai** n'est qu'une technique parmi toutes celles utilisées pour combattre l'érosion hydrique : gabions, micro-barrages sur ravine, ensemencement des berges, terrasses, etc.



Zai sur les plateaux de la région de Badaguichiri, Niger. © B. Bonnet

LES ARBRES DANS LEUR DIMENSION SOCIETALE

La place de l'arbre dans les sociétés sahélo-soudaniennes

Au Sahel, chaque société locale a des pratiques particulières de gestion des ligneux, créant une mosaïque paysagère (cultures, pâturages et arbres), révélatrice des relations entre les sociétés et leur environnement. La correspondance entre la composition floristique du peuplement arboré et la signature d'un groupe ethnique (Pélissier, 1980 ; Raynaud, 1997), éclaire sur la nature de la société et son histoire. Les parcs agroforestiers à *Faidherbia albida* sont l'exemple le plus abouti de ce type de construction du paysage par l'homme sahélien.

Le baobab, quant à lui, est l'une des espèces les plus connues pour ses multiples usages. **L'arbre est donc essentiel dans le fonctionnement des sociétés sahéliennes** qui se matérialise par des droits fonciers sur les terres et les ressources naturelles différenciés : droit de culture sur une terre, droit d'usage en fonction de la saison, droit de cueillette des produits de l'arbre, droit d'utiliser son feuillage comme fourrage, droit de couper ses branches pour alimenter son feu, droit de l'abattre... Cela autorise ainsi une certaine **appropriation de l'arbre**, donc un intérêt à sa protection, sans permettre à quelqu'un d'en user comme bon lui semble (contrairement à une appropriation privée).

Cette « multi-appropriation » de l'arbre permet donc à plusieurs familles de profiter de la même ressource, ce qui est essentiel dans ces régions où les ressources sont rares. Ces règles complexes et multiples d'accès et d'appropriation des ressources ligneuses ne correspondent donc pas à la définition occidentale du droit de propriété. De plus, elles ne concernent pas seulement les ligneux et sont aussi construites de la même façon pour les autres ressources.

La réalité est encore plus complexe. Face à la variabilité climatique, les populations locales deviennent mobiles et déplacent une partie de leur exploitation pour bénéficier des ressources là où elles sont (à des dizaines voire des centaines de kilomètres). Ces « transhumants », agriculteurs ou éleveurs, ont le droit d'exploiter des aires où ils ne résident pas et les droits d'accès et d'usage à une terre concernent donc des groupes sociaux éloignés de cette terre, présents temporairement. Cependant, la croissance démographique et l'accroissement des besoins poussent à transgresser les règles (étêtage ou écimage sévères des arbres qui en meurent, parcelles totalement défrichées pour des cultures plus intensives, surpâturage des feuillages...). Sur les fronts de colonisation agricole, de nouveaux arrivants, parfois ignorants d'une végétation étrangère à leurs savoirs locaux, peuvent être avant tout soucieux d'imposer au paysage une empreinte qui fonde leur contrôle foncier, sans souci de préserver la ressource elle-même. Enfin, des interventions extérieures en faveur d'un développement durable (accroissement de la production agricole, reboisement...) peuvent mettre en œuvre des actions qui font fi de ces règles, par ignorance ou par choix (considérant que ces règles complexes ne sont plus efficaces pour une production durable).

La dégradation du couvert ligneux conduit donc à la perte ou la perturbation des fonctions (agronomique, économique, médicinale, sociale ou culturelle) assurées par l'arbre. Des tensions se créent alors entre groupes sociaux, entre « propriétaires », « exploitants », « arrivants », d'autant plus que la perception occidentale du droit de propriété s'insère de plus en plus dans le contexte, que ce soit par les réformes foncières de l'Etat ou par les cadres de gestion et d'exploitation promues par les projets de développement. Face à ces perturbations et selon le contexte, la nature et l'état de la société locale, une grande diversité d'évolution s'observe oscillant entre résilience, adaptation, régression ou changement.



Parc agroforestier à gao, *Faidherbia albida*, Région de Ségou, Mali, mars 2005.
© A. Cornet

Conséquences sur les modes d'intervention en faveur d'une reforestation

Les déboires des opérations de développement et de reboisement au cours du dernier siècle (Gautier et Seignobos, 2003) nous ont montré la prudence nécessaire lorsque l'on intervient dans des contextes complexes :

- Il ne suffit pas de planter des arbres pour provoquer une situation de reforestation durable.
- Implanter de nouveaux arbres ne signifie pas forcément augmenter les ressources ligneuses utiles et disponibles pour les populations locales.
- Réserver des terres à des plantations peut provoquer autant de pertes (en ressources, en terres, en lieux de passage...) que de bénéfices.
- S'accaparer un espace foncier pour ces plantations peut provoquer autant de conflits fonciers et sociaux qu'en résoudre, etc.

Face à cette complexité, il existe deux réponses :

1. **impliquer les populations concernées dans la *définition* du projet, afin qu'il soit mieux adapté à leurs besoins et leur contexte ;**
2. **effectuer une analyse des impacts sociaux, économiques, fonciers et culturels avant de mettre en œuvre une intervention extérieure.**

Une grande expérience en « démarches participatives » a été accumulée ces dernières décennies (Borrini-Feyerabend *et al.*, 2010). Elle permet même de réintroduire la participation des populations lorsqu'elle a été oubliée au départ, non pas pour la mise en œuvre des actions mais, plus fondamentalement et utilement, pour l'évolution des objectifs de l'opération afin de mieux cadrer avec la situation locale (« suivi-évaluation participatif »). Voilà deux réponses prudentes, qui peuvent être facilement combinées et qui pourtant ne sont encore que trop rarement employées.

La GMV constitue donc une réelle opportunité pour intégrer et développer les approches participatives et renforcer le processus de décentralisation en cours en Afrique sahélienne.

Depuis les années 80, de nombreuses expériences de gestion de terroir ont démontré que les acteurs locaux, associations, autorités locales, communautés, individus, s'impliquent dans la gestion des ressources naturelles dans la mesure où ils en deviennent véritablement responsables (Rochette, 1989). Diverses techniques simples d'aménagement et de gestion des ressources naturelles ont ainsi été testées et développées : cordons pierreux, diguettes, banquettes, plantations, semis directs de ligneux, régénération naturelle (Larwanou *et al.*, 2006 ; Reij, 2009), ainsi que des plans simples de gestion, codes locaux et conventions locales de gestion des ressources

naturelles (Banzhaf, 2005 ; Bonnet, 2003 ; Kirsch-Jung et Sulser, 2000)... Au vu de ces expériences et de leurs résultats—régénération des ressources et appropriation par les populations, les législations de l'environnement ont évolué dans plusieurs pays sahéliens pour encourager un véritable transfert des responsabilités de la gestion des ressources naturelles aux communautés et/ou aux collectivités décentralisées (Mauritanie, Niger, Mali, Tchad...).

Aujourd'hui, la plupart des acteurs des régions sahéliennes sont convaincus que la gestion étatique, comme le libre accès aux ressources, conduit inexorablement à leur dégradation. La gestion décentralisée des ressources naturelles communes est donc considérée comme une voie alternative efficace. Malheureusement, la plupart des communes qui ont vu le jour depuis le début des années 2000 au Mali et au Niger pour les plus récentes, sont dépourvues de capacités pour gérer les ressources naturelles communes de leur territoire. Leur premier réflexe est parfois, au contraire, de mettre en place des taxes supplémentaires sans pour autant investir dans le soutien aux acteurs locaux de la gestion (Boysen, 2008).

La GMV doit donc soutenir les acteurs locaux responsables de la gestion des ressources naturelles, pour leur permettre d'élaborer une vision partagée et concertée de l'aménagement des espaces communaux, intercommunaux voire transfrontaliers, qui intègre la mobilité pastorale et la gestion des ressources naturelles communes : aires de pâturage, couloirs de transhumance, points d'eau pastoraux publics, mares permanentes ou temporaires, zones de régénération forestière, stratégies d'aménagement foncier, plans d'aménagement et d'exploitation des ligneux, protection des bassins versants par des mesures de conservation des eaux et des sols, etc.

Les initiatives locales de régénération et d'exploitation durable des ressources sylvo-pastorales (régénération naturelle assistée RNA, conservation des eaux et des sols, marchés ruraux de bois, conventions locales...) devraient être financièrement soutenues. En effet, les schémas d'aménagement foncier définis dans le Code Rural du Niger par exemple, intégrant les espaces agro-sylvo-pastoraux, les espaces forestiers, les espaces pastoraux, les axes de transhumance, les aires de repos et les points d'eau pastoraux, ont exigé des moyens financiers et des outils et méthodes qui ne sont pas accessibles aux acteurs de la zone sahélienne concernés par la GMV (Bodé *et al.*, 2010).

Les politiques publiques devraient aussi être adaptées pour s'inscrire plus activement dans le soutien de la gestion décentralisée des ressources naturelles. Le soutien de la GMV dans ce domaine serait particulièrement utile, en finançant la révision participative et concertée des textes-clés de la gestion durable des ressources naturelles en zone sahélienne : code forestier, code rural, code pastoral. Dans ce cadre, la mobilisation de la société civile, des organisations paysannes et pastorales, des communes et des instances foncières, est une garantie de succès et d'appropriation des textes. (Voir aussi Djerma *et al.*, 2009).

LA DENSIFICATION DU COUVERT ARBORE

Les connaissances scientifiques existantes permettent d'orienter les travaux de plantations et/ou de gestion et d'aménagement de l'existant, et de guider :

- le choix des secteurs en prenant en considération la pluviométrie, le bilan hydrique de l'espèce et l'accès à l'eau ;
- le choix des espèces à planter et des techniques à utiliser ;
- la protection des buissons, arbustes et arbres qui existent, et leur multiplication sexuée ou asexuée ;
- la prise en compte du statut foncier des terres utilisées ;
- la participation, le soutien et l'encadrement des populations ;
- le rôle des femmes, etc.

Régénération, protection et multiplication des arbres à l'échelle locale

Comment densifier et protéger le couvert ligneux au niveau villageois ?

Diverses actions permettant de densifier le couvert ligneux sont possibles. La plus simple, avec l'accord et l'appui des populations (et souvent des femmes), est de **protéger et aménager ce qui existe**. L'efficacité de la RNA et de **la protection individuelle d'arbres hors forêt** sont faibles dans les champs, sauf exception comme dans certains **parcs agroforestiers** ou pays comme le Niger et le Mali (*encadré ci-dessous*). Cependant, la RNA est un bon moyen pour à la fois rétablir les conditions favorables au bon fonctionnement écologique des systèmes agroforestiers (plus productifs, Reij et Botoni, 2009), et contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations locales qui assurent elles-mêmes la mise en œuvre de cette technique de GDT dont elles perçoivent bien les avantages (Zarafi *et al.*, 2002).



Régénération naturelle assistée de *Faidherbia albida* et d'*Acacia* sp. essentiellement, Région de Maradi, Niger.
© S. Jauffret

Impliquer les populations pour la protection durable des ressources naturelles

Au Burkina Faso, l'organisation non gouvernementale (ONG) suisse *newTree* a entrepris depuis 2003 un programme de régénération des formations naturelles au profit des populations rurales du centre et du nord du pays. La conservation *in situ* vise à préserver la variabilité génétique d'un maximum d'espèces ligneuses par des clôtures temporaires, solides, qui favorisent la régénération naturelle du couvert végétal (semis naturels, marcottes terrestres et drageons). On évite ainsi des plantations et des arrosages coûteux. L'implication des communautés de base dans l'identification des problèmes liés à la gestion des ressources naturelles et la proposition de solutions adaptées sont alors nécessaires. La décision de protéger les surfaces dégradées, la délimitation des zones à protéger et les actions à mener sont de leur ressort. Les populations fournissent les pierres, les graviers, le sable et l'eau ainsi que la main d'œuvre pour installer les clôtures et aménager le site selon leurs objectifs. La surveillance et la maintenance des clôtures font également partie de leurs tâches. Les partenaires signent un contrat et des procès verbaux d'accords fonciers (documents incluant les droits coutumiers et les droits administratifs établis pour chaque site). Au début de la saison pluvieuse suivante, une haie vive est plantée à l'intérieur de l'espace clôturé par les partenaires pour remplacer la clôture qui sera réutilisée pour la protection d'autres terres déboisées. Des **pépinières « volantes »** d'espèces en voie de disparition et/ou utiles pour la population rurale sont installées dans les périmètres clôturés. Par la suite, des plans de gestion sont élaborés avec les partenaires selon leurs besoins afin de permettre une exploitation durable des surfaces restaurées. Une formation en gestion durable des ressources naturelles est proposée aux paysans ainsi que la création d'activités génératrices de revenus complémentaires (apiculture, production de fourrage) qui, dès lors, deviennent possibles à court terme.

La régénération naturelle assistée au Niger : un cas d'école

Dès 1985, au sud du Niger, dans les régions **densément peuplées** de Maradi et de Zinder, **les agriculteurs ont commencé à protéger et à assurer la régénération naturelle assistée des arbres dans leurs champs**, en favorisant la croissance d'espèces d'arbres locales bien adaptées et à haute valeur ajoutée (*Faidherbia albida*, *Acacia* sp., etc.). La superficie concernée a atteint **5 millions d'hectares** (15 à 20 fois plus d'arbres en 2005 qu'en 1975).

Ces arbres n'ont pas été plantés, mais sont le résultat de la protection et de la gestion par les agriculteurs de la régénération spontanée. Ces derniers reconnaissent sans ambiguïté les multiples impacts de ce reverdissement : « les arbres sont pour nous comme le mil », « les arbres servent comme un brise-vent », « sans arbres nos animaux n'auraient rien à manger », etc. Les arbres font partie du système de production et ont permis une plus forte intégration de l'agriculture, de l'élevage et de la foresterie (Reij et Botoni, 2009).

Voir aussi : Breman et Kessler, 1997 ; Griffon et Mallet, 1999 ; Peltier, 1996, Szott *et al.*, 1991.



Localisation des régions de Maradi et Zinder au Niger.



Village dans la région de Maradi au Niger : les points verts sont des arbres ou des touffes arbustives (résultat de la régénération naturelle assistée). Le quadrillage correspond au parcellaire agricole.

Source : Google Earth, 2011.

La préservation des arbres dans les champs, la protection et la conduite de la RNA sont les techniques les moins coûteuses et les plus faciles à adopter sur de grandes superficies afin d'assurer la gestion durable des ressources forestières. Il est donc meilleur marché et plus efficace de promouvoir la régénération d'arbres que de les planter (Bellefontaine, 2005 ; Reij et Smaling, 2008 ; Reij et Botoni, 2009).

Les populations locales doivent être associées à la mise en place de ces bonnes pratiques de gestion durable des terres, grâce, à la fois, à la réalisation de formations par les paysans expérimentés auprès des autres agriculteurs et agro-pasteurs et des échanges d'expériences. Pour inciter l'adoption de la RNA à grande échelle, Reij et Botoni (2008) recommandent un ensemble d'actions : (i) définir, dans la législation forestière, des conditions incitatives d'exploitation des ligneux, non plantés mais protégés et entretenus et (ii) prendre en compte les réglementations locales. De plus, les auteurs recommandent que les activités s'articulent autour de :

- la réalisation de plantations individuelles à des fins de production de bois (arbres hors forêt sous forme de haies, bosquets, etc.) dans les exploitations agricoles en mettant l'accent sur les essences autochtones dans les aires favorables ;
- la réintroduction des espèces disparues ou en voie de disparition en créant des parcelles de biodiversité soit dans les terroirs, les communes ou dans chaque zone agro-climatique.

Les activités sylvo-pastorales, quant à elles, doivent favoriser :

- le maintien du potentiel productif du sol par des techniques de conservation des eaux et du sol (Sidibe, 2005), la fumure organique (Lhoste, 1995), l'**agroforesterie** et l'utilisation d'engrais ;
- l'intensification des cultures fourragères, ligneuses ou herbacées, dans les exploitations agricoles dans le cadre d'une meilleure intégration de l'agriculture et de l'élevage ;
- le développement d'activités génératrices de revenus dans les villages (maraîchage, artisanat, commerce, etc.) pour soutenir l'agriculture (achat de matériel agricole, etc.).

Les mises en défens de formations végétales ligneuses dégradées représentent aussi une alternative aux plantations. Au Sénégal, au Niger et au Burkina Faso, la mise en défens avec le concours réel des **populations sensibilisées et mobilisées** a permis la régénération et le développement de la végétation spontanée sur des terres marginalisées, mais rarement sur de très grandes superficies à ce jour.

Comment planter ?

A défaut de protéger et d'aménager ce qui subsiste, des **plantations de haies** (Yossi *et al.*, 2006), de **brise-vent** et de **bosquets** peuvent être entreprises sous certaines conditions :

- choisir des espèces et leurs provenances en fonction des sols ;
- sélectionner des techniques appropriées pour les premières années de vie des plants (Bellefontaine, 2010) :
 - o travail du sol en profondeur associé à des **demi-lunes** ;
 - o utilisation de conteneurs modernes et portoirs hors-sol et rigides permettant le court séjour des plants en pépinière et favorisant la formation d'un système de racines denses (facteur de réussite des plantations sur le terrain) ;
 - o arrosages durant les deux premières saisons sèches.

Dans ces conditions, on pourra raccourcir les périodes de mises en défens, concilier les souhaits des agriculteurs-éleveurs et domestiquer les principales espèces à usages multiples en multipliant les clones performants préservés par les ruraux (Bellefontaine *et al.*, 2010). Ces actions devraient de préférence reposer sur des stratégies qui prennent en compte les difficultés économiques locales.

Enfin, les plantations sont coûteuses et si **l'aspect foncier** n'est pas clairement défini, le résultat final risque d'être faible ou nul. En effet, si les droits de propriété foncière et ceux d'usage sur une parcelle agricole ne sont pas définis entre agriculteurs et éleveurs, ces derniers, essentiellement transhumants, laisseront divaguer les animaux sur les parcelles agricoles qu'ils considèrent souvent comme des terres collectives appartenant à tous. Dans tout projet d'aménagement agro-sylvo-pastoral, il est donc essentiel de définir les droits d'accès et d'usage de la ressource ligneuse, notamment pour les femmes. Si ces droits ne sont pas clarifiés, le bois des plantations réalisées sera prélevé en trop grande quantité, voire en totalité.

Un exemple réussi de plantation de brise-vent dans la vallée de la Maggia au Niger

Les pentes du bassin-versant, déboisées depuis 1930, ont été progressivement asséchées par les vents violents et persistants durant la saison sèche. Pour protéger les terres de la vallée et l'environnement du bassin versant, les premiers brise-vent ont été plantés en 1975, principalement sous la forme de deux rangées de **Neems**. Aujourd'hui, plus de 500 km de brise-vent et de haies ont été plantés et la vallée, protégée par les habitants, est densément occupée.

D'après Bellefontaine *et al.*, 2002.

Malgré l'aridité du climat et le manque de moyens financiers, une restauration satisfaisante du couvert végétal est possible avec des **techniques simples fondées sur une protection durable des surfaces dégradées, une responsabilisation et une implication réelles des populations locales**.

Comment faciliter la reproduction des espèces d'arbres ?

En régions semi-arides, les semis naturels ne survivent guère et disparaissent quasiment tous au cours des premiers mois de sécheresse (feu, aridité, broutage, etc.). Les semis en pépinières et les plantations industrielles sont trop onéreux. Une alternative existe avec la mise en œuvre d'autres techniques simples (drageonnage, bouturage, marcottage, etc., Belem *et al.*, 2008 ; Bellefontaine et Malagnoux, 2008 ; Ky-Dembélé *et al.*, 2010). Ces techniques peu coûteuses (Meunier *et al.*, 2006) sont réalisables par les populations rurales éloignées des pépinières urbaines et assurent le maintien à petite échelle des espèces locales.

D'autres techniques peuvent être aussi valorisées, comme la production de plants clonés de qualité supérieure (résistants à la sécheresse et aux maladies, croissance rapide, système racinaire puissant, rendements élevés des co-produits ; Bellefontaine, 2010).

Comment planter sur les dunes ?

Une récente synthèse de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, Malagnoux, 2011), portant sur des études de cas relatives aux plantations sur dunes (Chili, Chine, Mauritanie, Sénégal, Niger, Iran), montre une grande diversité des modes de gestion de ces plantations en raison de conditions climatiques, économiques et sociales très différentes. La longue expérience de gestion des plantations de protection sur dunes de certains pays (Danemark, Etats-Unis, France) permet d'adapter cette gestion à l'évolution des attentes de la société.

De nouveaux rôles des forêts en plus des fonctions traditionnelles de fixation, de protection et de production, sont pris en compte comme la préservation de la diversité biologique et l'accueil du public (activités récréatives et touristiques). Une gestion multifonctionnelle (ou multi-usages) de ces forêts est aujourd'hui mise en œuvre pour répondre aux attentes de l'ensemble des usagers : satisfaction des besoins en combustibles et autres produits ligneux et non ligneux, sources de revenus pour les populations locales.

La diversité des situations rencontrées doit inciter les concepteurs de projets de fixation des dunes à étudier soigneusement les conditions physiques (édaphiques et climatiques), économiques et sociales du milieu afin de ne pas surestimer les possibilités. Les objectifs économiques ne doivent en aucun cas prendre le pas sur les nécessités techniques (fixation des dunes et protection) et doivent rester des outils pour financer les opérations de maintien des plantations (par le secteur privé lorsque les plantations sont sources de revenus ou par les services de l'Etat avec la participation des populations aux décisions, aux travaux, à la gestion et aux bénéfices).

Enfin, des activités de recherche (d'accompagnement) doivent être prévues dès la conception du projet afin d'étudier toutes les questions relatives à la durabilité du dispositif et à la satisfaction des besoins des populations.

Les ceintures vertes périurbaines

La ceinture verte est soit une forêt fortement dégradée puis enrichie d'espèces exotiques, soit, le plus souvent, une plantation d'arbres autour des agglomérations. C'est au 20^{ème} siècle que les premières expériences ont vu le jour, en particulier en Afrique (OSS, 2008). Les objectifs des ceintures vertes étaient de :

- protéger les villes de l'érosion (p. ex. villes côtières au Maroc telles que Tanger) ;
- protéger les villes contre l'ensablement (Gao, Tombouctou, Niamey, Essaouira...) ;
- contribuer à la dépollution d'un environnement urbain poussiéreux et approvisionner en bois de feu (p. ex. le Caire) ;
- réintroduire des espèces animales et végétales disparues (à Edfou à 120 km au nord d'Assouan, à Louxor et à Qéna à 60 km au nord de Louxor) ;
- réhabiliter des écosystèmes fragiles et dégradés (Kenya, Soudan...) ;
- aménager les zones urbaines et périurbaines selon une approche paysagère et fonctionnelle (Dakar, Ouagadougou...) ;
- protéger les axes de circulation (p. ex. routiers et ferroviaires en Asie centrale), les canaux (comme celui du Karakoum) ainsi que les aéroports.

Divers modèles de ceinture ont ainsi été expérimentés : les modèles « grande agglomération », « agglomérations et cuvettes aménagées », « agglomération et zones de culture » et « route ». Ces plantations forestières ont pu assurer une protection durable des agglomérations, des oasis et des infrastructures routières sans irrigation d'entretien partout où la pluviométrie était supérieure à 150 mm (p. ex. Mauritanie) ou sur des sites bénéficiant de la présence d'aquifères.

Les premiers aménagements étaient des infrastructures périurbaines ou rurales généralement mises en œuvre par les pouvoirs publics, sans vocation de production ni d'exploitation (OSS, 2008). Les concepts ont ensuite progressivement évolué pour associer les populations locales aux travaux de plantation et d'entretien. Ainsi, les nombreuses expériences de part et d'autre du Sahara peuvent servir d'exemples pour orienter les travaux en milieu rural (aménagements agro-sylvo-pastoraux) ou urbain (aménagements paysager) afin de mettre en adéquation les réalisations avec les objectifs visés. La réussite à long terme dépend essentiellement :

- du niveau de participation de la population ;
- du développement en pépinière d'un système d'enracinement optimal accompagné des soins et protections durant les premières années et du « respect physique » des arbres par les populations qui en profiteront, notamment après indemnisation correcte des propriétaires des terres.

Quelques conditions d'efficacité et de durabilité de la densification

Prendre en compte la pluviosité et l'accès à l'eau

Au Sahel, les précipitations diminuent considérablement du sud vers le nord et les potentiels de production de biomasse varient fortement. Les arbres du Sahel ne sont donc pas dans les meilleures conditions climatiques pour pousser, mais les différentes espèces autochtones ou importées montrent une grande variété de stratégies d'adaptation au milieu ainsi qu'une remarquable capacité de régénération après des années de déficit pluviométrique (p. ex. *A. senegal*, Poupon, 1980). Lorsque les précipitations deviennent trop faibles (précipitations inférieures à 150 mm/an), la quantité d'eau contenue dans le volume de sol exploité par les racines ne suffit plus à alimenter correctement un couvert continu d'arbres. Le couvert se contracte alors, et les arbres bénéficient du ruissellement des parties non couvertes, qui se traduit dans les conditions naturelles par l'apparition de végétation en bandes, donnant un aspect tigré à la brousse (D'Herbès *et al.*, 1997). Dans les zones sahéliennes les plus au nord, proches du Sahara, où la pluviosité est inférieure à 100 mm, les arbres ne poussent que s'ils bénéficient d'apports d'eau supplémentaires conséquents dans les configurations qui concentrent les eaux de ruissellement (talwegs, dépressions...) ou lorsqu'il y a une nappe d'eau superficielle. L'irrigation d'appoint peut être une alternative, mais elle est rarement possible.

Plus on se dirige vers le nord du Sahel, plus il est difficile d'envisager de réaliser des plantations continues pour former un « rideau » d'arbres. **Il faut prévoir de les limiter aux endroits favorables, où l'eau s'accumule et où le sol peut la stocker pour former une réserve utilisable par les arbres pendant la période sèche.**

Il est aussi nécessaire de valoriser l'expérience des populations locales qui ont mis en œuvre différents systèmes de collecte de l'eau pour alimenter leurs cultures et leurs arbres, en s'inspirant du modèle de la « brousse tigrée » (Malagnoux, 2008). Des agronomes ont perfectionné ces techniques traditionnelles et des forestiers les ont adaptées à la taille et aux besoins de leurs arbres. La superficie des terres remises en état a été considérablement accrue grâce à des technologies mécanisées qui ont permis de travailler plus rapidement la terre à un moindre coût et de creuser des bandes plus profondes pour mieux retenir l'eau.

Dans tout programme de boisement axé sur la LCD, le bilan hydrique actuel et futur du peuplement devrait être systématiquement estimé pour chaque phase de son évolution.

Il serait utile de promouvoir des pratiques sylvicoles appropriées—choix des essences, superficie à planter, densité de boisement, entretien des boisements (éclaircies, élagage...), conversion d'un peuplement dense en **parc agroforestier** ou en prairie—de façon à ce que la consommation annuelle d'eau reste inférieure à l'apport annuel.

Outre la pluie, il existe d'autres sources d'eau, telles que l'eau réutilisée et les aquifères profonds, dont il faut tenir compte. Beaucoup de terres arides et de déserts ont des nappes souterraines profondes exploitables. Pendant une courte période, certaines activités de remise en état exploiteraient des aquifères fossiles en gardant à l'esprit que ces eaux ne se renouvellent pas. Avec l'urbanisation croissante des régions arides, la foresterie urbaine et l'aménagement des espaces verts avec des espèces végétales moins gourmandes en eau que les arbres (broussailles et plantes herbacées, par exemple) gagnent en importance. Dans quelques pays, l'eau réutilisée, y compris les eaux usées (après traitement ou non), sont valorisées (Bellefontaine, 1998). Cette pratique prometteuse devrait se développer à l'avenir, à condition de maîtriser les risques sanitaires associés.

Agir de manière concertée avec tous les acteurs

Les sécheresses répétées et la variabilité climatique, ayant abouti à une réduction de la production et des rendements, ont conduit les agriculteurs à développer des systèmes de production extensifs en défrichant les espaces forestiers existants. Parallèlement, la disparition du tapis herbacé et des points d'eau durant la saison sèche a aussi entraîné des problèmes de migration et de mortalité du bétail, incitant les éleveurs à accroître leur prélèvement sur les ligneux pour nourrir leurs animaux. Dans ce contexte de raréfaction des ressources, il n'est pas rare que des conflits éclatent entre agriculteurs et éleveurs, devant se partager momentanément les mêmes espaces et ressources. Il est donc indispensable que l'ensemble des acteurs d'un territoire intervienne pour **aménager les ressources agro-sylvo-pastorales en prenant en compte à la fois la dynamique des formations végétales à gérer et les pratiques agricoles et pastorales (voir encadré ci-dessous).**

Dans les zones sèches, le succès des cultures dépend notamment de la **disponibilité d'une main d'œuvre nombreuse, mobilisable rapidement et pendant une très courte période de temps favorable aux semis, puis aux cultures.** Cet investissement en travail humain demeure souvent à court terme la seule possibilité

d'accroissement de la production agricole, du moins tant que des améliorations notoires des techniques et du matériel végétal n'auront pas révolutionné le monde agricole des zones sèches.

Le **droit foncier favorisant les femmes** est aussi à aménager, notamment dans le cas de plantations d'arbres hors forêt (Bellefontaine *et al.* 2002).

Enfin, les espaces forestiers ont souvent été perçus comme un stock de produits sans propriétaire et où leur récolte était libre : les arbres sont alors coupés sans considération des conséquences à long terme. Il faut donc **procéder à une réappropriation de l'espace forestier**. Pour ce faire, la prise en compte de l'ensemble des aspects sociaux, économiques et fonciers, qui se traduisent dans l'expression des politiques foncières, forestières, agricoles et d'aménagement du territoire, est essentielle.

L'utilité écologique de la mobilité pastorale

La bande de territoire comprise entre les isohyètes 400 et 100 mm de précipitations moyennes, retenue pour le tracé de la GMV, correspond à un espace fortement dominé par les activités pastorales transhumantes et d'agriculture pluviale. Saturées et surpeuplées, les aires pastorales font face à la remontée des fronts agricoles. La végétation ligneuse contractée s'y régénère après leur destruction suite aux grandes sécheresses de 1973 et 1984 (Herrmann *et al.*, 2005). Cette végétation dominée par les graminées annuelles est de grande qualité pastorale (pour la production laitière et la reproduction). Elle couvre ponctuellement des superficies considérables, desservies par de nombreuses mares temporaires ; ce qui est à l'origine des grands mouvements de transhumance qui permettent aux pasteurs, agro-pasteurs et éleveurs de valoriser ces terres pendant quelques mois de l'année avant de se replier plus au sud vers les aires où la pluviosité est plus favorable.

L'élevage pastoral et agro-pastoral domine ces espaces et valorise des ressources naturelles variables d'une année à l'autre selon la pluviosité. L'implantation des sociétés humaines sous de telles contraintes n'est possible que grâce à des points d'eau permanents en saison sèche et à la mobilité des troupeaux indispensable pour s'adapter à la disponibilité irrégulière des pâturages.

L'élevage mobile et transhumant, par le caractère parfois massif de ses mouvements ou de sa concentration autour des points d'eau en fin de saison sèche, a souvent été considéré comme facteur de dégradation des écosystèmes en zone sahélarienne. Depuis une dizaine d'années, pour se conformer aux principes de précaution environnementale dans l'implantation des puits pastoraux, plusieurs programmes ont réalisé des études spécifiques sur les impacts du pâturage sur les écosystèmes de la région. Il en ressort que **les effets du pâturage sont d'autant moins marqués que les troupeaux sont appelés à se déplacer et à développer la mobilité**. Par contre, **la sédentarisation des troupeaux** favorise la dégradation des écosystèmes. La notion de **surpâturage s'applique plus à une exploitation continue** des ressources pastorales car les animaux, même peu nombreux, utilisent de manière sélective les espèces les plus palatables et tendent à les faire disparaître. **La réduction des aires de pâturages, des couloirs de transhumance et des aires de repos** (jusqu'à exploités par les pasteurs en zone agro-pastorale et pastorale) diminue la mobilité des troupeaux et augmente ainsi les risques environnementaux.

Ces aires sont aussi l'objet de conflits d'affectation des usages entre le pâturage qu'elles portent depuis toujours et la mise en culture sous la pression de la remontée des fronts agricoles. Cette agriculture à très haut risque à moins de 300 mm de pluie par an, prend la forme de systèmes de culture extensifs beaucoup moins productifs que l'élevage (Collin de Verdière, 1995) et laisse les sols à nu exposés à l'érosion éolienne pendant la majeure partie de l'année (Hiernaux et Bagoudou, 2006).

La mobilité des troupeaux reste alors la principale stratégie d'adaptation des populations locales. Il est donc nécessaire de prendre en compte cette donnée dans la conception d'une initiative comme la GMV, pour que le pastoralisme y soit pleinement intégré et que la muraille demeure perméable aux troupeaux.

« Globalement en zone pastorale, les risques environnementaux liés à l'élevage pastoral sont faibles en raison de la mobilité du bétail qui ajuste la pression de pâture aux disponibilités fourragères locales et saisonnières.

Par contre, les mises en cultures en zone pastorale vulnérabilisent l'écosystème aride à l'érosion des sols, surtout éolienne, mais aussi hydrique et biochimique. En outre, l'extension de ces cultures contribue à réduire la mobilité locale et régionale du bétail ce qui pourrait, à terme, fragiliser la production animale de type pastoral et aggraver l'impact de l'élevage pastoral sur l'environnement ». (Hiernaux, 2006)

INVESTIR DANS LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES : COÛTS ET BÉNÉFICES

L'évaluation de la rentabilité des investissements dans la gestion durable des ressources naturelles (GRN) est encore partielle. Cependant, les résultats scientifiques actuels montrent les bénéfices financiers à investir pour la restauration des terres dégradées. Comme Reij et Botoni (2009) l'ont souligné, les impacts des investissements dans la GRN sont souvent sous-estimés car les évaluations ne tiennent pas compte des impacts indirects des investissements comme, par exemple, les travaux de conservation des eaux et des sols qui conduisent à l'augmentation des rendements agricoles et peuvent contribuer localement à la recharge de la nappe phréatique et à la remontée du niveau d'eau dans les puits favorisant le maraîchage...

Quelques exemples sont présentés ci-après de la rentabilité économique des forêts sahéliennes et de leurs productions ainsi que celle des investissements réalisés dans le cadre de projets de LCD fondés sur la mise en œuvre d'un ensemble de pratiques de gestion durable des terres (banquettes, tranchées, bandes de végétation, brise-vent, barrages, digues, *zai*...).

Evaluer la rentabilité économique des forêts sèches

C'est une tâche difficile car les informations nécessaires à ce type d'évaluation sont rarement disponibles. Un inventaire a été récemment réalisé des calculs de taux de rentabilité interne économique au Sahel appliqué aux projets et investissements de type forestiers. Cet inventaire reprend essentiellement les travaux de Reij et de ses équipes, (Reij et Steeds, 2003 ; Abdoulaye et Ibro, 2006 ; Reij et Botoni, 2008 et 2009), également appelés les « Etudes Sahel ». Il présente les résultats portant sur les actions de régénération naturelle assistée menées par les populations locales, sur les plantations de parcs arborés et leurs effets sur les activités pastorales et agricoles (accroissement fourrager et de la fertilité).

Le taux de rentabilité est ici calculé après la réalisation des projets ou des actions de reforestation et sur la base d'informations réelles, établies d'après des relevés de terrain, des enquêtes et des avis d'experts (évaluation *ex post*). Il rapporte les bénéfices des investissements forestiers mis en place (production de bois, fourrage, amélioration de rendement agricole) aux coûts de mise en œuvre ou d'entretien des forêts (plants, arrosage, surveillance, coût du foncier, etc.).

Dans ces « Etudes Sahel », le taux de rentabilité de la régénération naturelle assistée a été évalué au Niger et au Burkina Faso sur une période de 20 ans, pendant laquelle les arbres (espèces diversifiées), ont été protégés par les populations (coûts de main d'œuvre pris en compte). Ces arbres produisent du bois (à partir de la 6^{ème} année), du fourrage, et permettent l'augmentation des rendements agricoles (+5% sur les récoltes). Ces évaluations issues d'enquêtes de terrain font ressortir des taux de rentabilité **de 31% au Niger et de 24% au Burkina Faso**.

Le taux de rentabilité de deux types de plantations d'arbres au Niger a été calculé sur 20 ans :

- Plantation non fruitière avec une production en bois de 6 stères par ha (à partir de la 6^{ème} année) et fourragère de 15,5 kg/ha : le taux de rentabilité est de 13%.
- Plantation fruitière avec une production fourragère de 15,5kg/ha et en gomme arabique de 1,5 kg par arbre (à partir de la 6^{ème} année) : le taux de rentabilité est de 31%.

Cependant, ces calculs utilisent un taux de survie des arbres de 100% largement surestimé. En effet, les études faites au Niger montrent qu'en fait seulement 20% des arbres plantés survivent jusqu'à l'âge adulte, ce qui remet en question la rentabilité économique de ces actions.

Au Sénégal, la fixation des dunes côtières par plantations de **Filaos** a également permis la mise en culture maraîchère de cuvettes avoisinantes ; le taux de rentabilité réel atteint alors 20%. Actuellement les filaos sont morts ou en train de mourir dans ce secteur.

Dans les différents projets et actions évalués en matière de rentabilité, l'horizon temporel utilisé est au minimum de 20 ans. D'une part, ce choix permet de travailler sur des données plus fiables et, d'autre part, il est dû à la durée nécessairement longue des retours quand il s'agit d'investissements dans le milieu naturel (par opposition avec le temps court de l'économie). Cela est contraignant car les projets et actions de long terme sont devenus rares. La tendance actuelle est en effet au financement de projets et de plans de trois à six ans, ajustés à la planification des pays et aux règles des opérateurs de la coopération internationale.

Cette question de l'échelle de temps soulève différentes réflexions :

- Sur le choix des espèces (et des investissements dans l'amélioration des espèces forestières) : du point de vue des investisseurs, par exemple, les projets de plantations d'Eucalyptus qui donnent du bois de chauffe après trois ans peuvent engendrer des taux de rentabilité élevés à cette échéance. Ce constat explique en partie l'engouement des bailleurs pour ce genre d'action ; la question de leur durabilité, de la répartition des revenus engendrés restant le plus souvent mal informée.
- Sur l'importance des dimensions sociales et institutionnelles des projets à long terme et sur les conséquences probables (à double tranchant) en matière d'encadrement : le taux de rentabilité d'une plantation d'espèces fruitières par exemple nécessite d'être calculé sur une longue période pour obtenir un résultat positif (temps de maturation des arbres). Or, l'allongement de la durée d'un projet rend incertains les aspects de gestion collective ou d'entretien des investissements réalisés, de redistribution des bénéfices et de sécurisation du foncier : seront-ils imposés par l'extérieur, engendrant des coûts sociaux ? Seront-ils élaborés ou co-élaborés par les parties prenantes, les bénéficiaires et les groupes cibles ?

C'est donc bien de pré-requis sociaux et institutionnels, en plus des connaissances écologiques dont il s'agit dans ce débat sur la rentabilité des projets forestiers.

Ce point est d'ailleurs évoqué dans les travaux d'évaluation de Reij et Steeds (2003) : dans le cas de la gestion des forêts en Tanzanie, ils font ressortir l'importance de la gestion d'une forêt classée par l'administration forestière en collaboration avec les communautés locales. Cette cogestion réduit de façon importante les prélèvements illicites en bois. Dans ce cadre, le résultat d'une gestion villageoise de la forêt (plan de rotation des coupes de bois de feu) associée à la diffusion de foyers améliorés engendre un taux de rentabilité de 12% (les coûts sont estimés à partir de ceux de fonctionnement de l'administration forestière)².

Les modes d'accès et d'usages collectifs des plantations (redistribution des bénéfices, organisation de l'entretien et clarification du foncier) sont des données fondamentales de la rentabilité d'un investissement comme le reboisement. En effet, le calcul du taux de rentabilité ne peut pas inclure directement la question des droits de propriété. Pourtant, la comparaison de résultats montre l'importance de ce critère. Les évaluations de taux de rentabilité sont aussi limitées par :

- La méconnaissance de nombreux coûts (Capalbo et Antle, 1989) : coût d'arrosage, d'entretien, coûts d'opportunité liés, coûts sociaux de mise en œuvre de certains projets, taux de reprise des arbres, événements climatiques, variations des prix de vente, etc. Certaines de ces composantes sont reliées. Ceci renforce le caractère contextuel de telles évaluations (Requier-Desjardins *et al.*, 2010).
- Une tendance à la surestimation des résultats en matière de production et à la sous-estimation ou à l'omission de certains bénéfices écologiques et socio-économiques : stockage de carbone, remontée des nappes phréatiques et allègement des corvées d'eau, gain en biodiversité, baisse de conflits sur les ressources, ombrage et aspects paysagers, etc.

Des recherches sont en cours pour introduire certaines de ces données dans les calculs de taux de rentabilité (Requier-Desjardins, 2007).

En conclusion, ces évaluations renforcent l'idée qu'un processus de reforestation spontané ou entretenu localement par une volonté collective procurera les bénéfices les plus élevés au cours du temps. Le cas de la RNA en est un des meilleurs exemples dans cette région.

² Ici, le taux de rentabilité est estimé avant la mise en œuvre du projet (évaluation *ex ante*).

Un peu de jargon : le taux de rentabilité interne économique (TRIE)

Ce taux permet d'évaluer si un projet ou un type d'investissement est rentable. C'est un pourcentage qui, pour une période donnée, annule la valeur nette actualisée des flux économiques attendus en retour de l'investissement initial (et des coûts de son entretien).

Pour obtenir la valeur actualisée des flux économiques futurs d'un tel investissement, on a recours à un taux d'actualisation. Ce taux d'actualisation exprime à la fois la préférence pour le présent, l'aversion au risque qui augmente avec la durée des projets (incertitude) et surtout le fait que la croissance économique (ou l'accroissement des richesses produites) diminue aujourd'hui la valeur d'un montant (ou retour) monétaire futur.

Mais pour les ressources naturelles, on observe plutôt leur raréfaction au fil du temps, notamment depuis le milieu du XX^{ème} siècle. Aussi, de nombreux experts s'interrogent sur l'intérêt d'utiliser un taux négatif d'actualisation pour traduire l'idée que leur valeur aujourd'hui augmentera plutôt au fil du temps (voir notamment les débats autour de ce point dans les enceintes traitant de la valeur économique et monétaire de la biodiversité, TEEB, 2009).

La stratégie d'énergie domestique et les marchés ruraux de bois-énergie : un investissement profitable

Le Niger et le Mali avec l'aide du Cirad (La recherche agronomique pour le développement) ont mis en œuvre dès les années 1970 la Stratégie d'Énergie Domestique (SED), qui a contribué significativement à l'aménagement des forêts naturelles dans la zone soudano-sahélienne. La démarche adoptée se fondait sur quatre piliers principaux :

- la valorisation commerciale de l'arbre (organisation de la filière-bois et mise en place de marchés ruraux de bois-énergie) ;
- la responsabilisation des populations locales et la satisfaction des besoins (bois-énergie et coproduits divers) des populations rurales et urbaines ;
- la création d'emplois et de revenus ;
- la gestion durable des ressources ligneuses.

Cette démarche était soutenue par l'élaboration, l'adaptation et l'application d'une nouvelle fiscalité sur le bois et la définition de techniques d'aménagement sylvo-pastoraux des forêts sahéliennes, négociées et s'adaptant aux exigences des populations riveraines. En effet, afin de réduire la pression sur les ressources forestières, ces aménagements devaient favoriser les savoir-faire locaux, la vulgarisation de techniques de régénération les plus efficaces, facilement maîtrisables et les moins coûteuses, 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 et l'intensification de l'agriculture et de l'élevage, (Peltier *et al.*, 2009).

« De 1986 à 1992, les coopératives ont permis d'injecter quelques 65,5 millions de francs CFA au titre des ventes de bois dans les localités concernées. Ces sommes restaient auparavant dans la ville de Niamey, du fait que les bûcherons étaient des citoyens salariés des transporteurs. La valeur ajoutée globale créée dans l'économie nationale se serait ainsi élevée à 262 millions de francs CFA. Ces masses monétaires ont permis la création d'emplois, la réduction de l'exode des couches jeunes de la population, le développement d'autres activités à caractère économique et social : réparations d'ouvrages hydrauliques, constitution de banque de céréales, achat d'intrants, agrandissement de bâtiments sociaux, relance d'activités culturelles, etc. » (Bellefontaine *et al.*, 2000).

Des projets réussis de LCD dans la région de Tahoua au Niger

Dès le début des années 80, de nombreux projets de développement et de LCD ont été menés par le Niger avec l'appui des partenaires techniques et financiers internationaux.

Les résultats furent spectaculaires dans la région de Tahoua tant du point de vue des réalisations que des résultats. Parmi les projets les plus connus, celui de développement rural intégré de l'Ader Douchi Maggia (« projet Keita ») est un cas d'école par son ampleur. Après 14 ans d'activités, les résultats semblaient concluants mais les investissements humains, techniques et financiers mobilisés étaient tels qu'il s'avérait impossible de répliquer ces travaux. Cependant, une telle expérience a montré que la participation de la population—en particulier des femmes—est essentielle à la pérennisation des acquis ainsi que la formation des populations qui prennent en charge la gestion des terroirs.

En 1962, la région de Keita au Niger était couverte de forêts sèches. Cette végétation a complètement disparu en 1984. Cette année-là, les rendements agricoles étaient nuls en raison d'un nouvel épisode de sécheresse. Le projet « Keita » (1984-1999) concernait 3 500 km² (sur les 4 860 km² de l'arrondissement). L'objectif était de réduire l'érosion, favoriser l'infiltration d'eau et l'abreuvement du bétail. Les principales réalisations du projet ont concerné des travaux de conservation des eaux et des sols (banquettes, tranchées, bandes de végétation, brise-vent, barrages, digues). 20 000 ha de terres ont été traités, dont 9 300 de terres agricoles, le reste étant des zones pastorales et forestières ; 17 millions d'arbres ont été plantés entre 1984 et 1991. Des dunes ont été fixées. De nombreuses infrastructures ont été construites : routes, puits, écoles.

Les rendements en céréales sont alors passés de 1,5 tonnes en 1972 à 0 en 1984, puis à 0,364 entre 1984 et 1994. La production fourragère, quant à elle, a augmenté de 50% sur les secteurs traités par le projet. La population dans la région est passée de 65 000 personnes en 1962 à 170 000 en 1995 et à 231 680 personnes en 2002.

Les superficies cultivées ont augmenté : en 1979, elles étaient de 33 750 à 44 850 ha et en 1994 entre 107 000 à 167 828 ha. Les aires effectivement cultivées dépassent celles consacrées à l'agriculture : en effet, en 1994, on estimait que la surface maximale cultivable était atteinte (autour de 120 000 ha). Celle-ci couvrait juste les besoins alimentaires de la population : 237 kg de céréales sont nécessaires par personne et par an, ce qui correspond dans la région à 0,7 ha de terre de culture par personne compte tenu du rendement de 350 kg/ha. Les perspectives de développement recommandent dès lors de valoriser la diversification des activités (Di Vecchia *et al.*, 2007).

D'autres projets de développement rural dans la région de Tahoua ayant obtenu d'excellents résultats méritent d'être cités :

- La coopération allemande accompagne depuis très longtemps le Projet de Développement Rural de Tahoua.
- Le projet « Conservation des eaux et des sols–Agroforesterie » du Fonds International de Développement Agricole peut être considéré comme la référence du développement des techniques du *zaï* au Niger. Un agronome nigérien s'est d'ailleurs investi sur la récupération à la main des terres dégradées. Le succès fut tel que les plateaux arides abandonnés sont dorénavant devenus un enjeu foncier convoité pour y cultiver du sorgho.
- L'ONG CARE a contribué à la mise en place de brise-vent dans la vallée de la Maggia dont les traces sont toujours visibles.

Aujourd'hui, le résultat global observé dans cette région est impressionnant. Le principal secret du succès de tous ces aménagements en zones arides repose sur la participation de la société Aderawa (habitants de l'Ader, région de Tahoua) et sur sa capacité à intégrer et entretenir les résultats utiles des projets.

De nos jours, le bassin versant de Badaguichiri est remarquablement aménagé à la fois sur les plateaux et dans la vallée sans que les projets n'y soient intervenus depuis plusieurs années. Un ensemble de bonnes pratiques de gestion durable des terres est utilisé et entretenu : *zaï*, cordons pierreux, RNA, etc.



Vallée centrale vers Badaguichiri, région de Tahoua, Niger. © B. Bonnet



Aménagements agricoles (murets pierreux, paillage...) des plateaux d'Allakay, région de Tahoua, Niger. © B. Bonnet

Enfin, l'ensemble des expériences et leçons tirées des projets de développement au Niger et au Burkina Faso a été valorisé dans un recueil d'expériences édité par le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel en 1989. Ce recueil, comprenant une centaine de fiches d'expériences, est un outil utile à mettre au service de la GMV (Rochette, 1989).

CONCLUSION : DES POINTS A RETENIR

L'initiative « Grande Muraille Verte » a été saluée à juste titre car la mobilisation politique des pays africains autour de ce concept est sans nul doute un gage d'appropriation et de réussite des actions envisagées de LCD et de reverdissement, en particulier par la plantation d'arbres.

Cette note est une rapide synthèse de travaux publiés sur le sujet. En outre, les nombreux rapports de projet accumulés sur plusieurs décades et décrivant les expérimentations, leurs résultats et souvent les recommandations qui en découlent, ne sont généralement pas accessibles et peu partagés (Briki et Ben Khatra, 2010). Pour permettre au plus grand nombre des personnes concernées, et en particulier les experts et les agents nationaux qui auront en charge les réalisations concrètes dans leur pays, le CSFD recommande la mise à disposition du plus grand nombre de ces informations pratiques.

Les études et recherches disponibles confirment la nécessité de développer le concept autour d'une approche globale intégrant l'ensemble des activités agro-sylvo-pastorales, avec un objectif de conservation de l'environnement et d'aménagement durable des territoires, et qui combinerait différentes formes de reforestation (protection et gestion des ressources existantes, accompagnement de la régénération naturelle et replantations). Il est aussi important de réfléchir dès le départ à qui sera responsable de sa mise en œuvre et qui exploitera les ressources produites, produits ligneux (bois) et non ligneux (fourrage, fruits, résines...). La question foncière (propriété) et les droits d'accès aux terres sont des questions délicates dont il faut tenir compte dès le démarrage des travaux. Ces actions devront être réalisées sur l'ensemble des zones concernées par la dégradation de la végétation et des sols et ne devront pas se limiter à une bande de terre préalablement définie plus ou moins arbitrairement.

La responsabilité des scientifiques est de diffuser les connaissances acquises sur le rôle de la couverture végétale en général et des arbres en particulier dans la LCD dans tous les secteurs (agriculture, élevage, foresterie, économie, société...). Le succès technique de l'initiative dépend en partie d'une utilisation appropriée de ces connaissances et de son accompagnement par des mesures de formation et de recherche-développement.

A l'échelle villageoise, les actions de plantations d'arbres et surtout d'assistance à la régénération naturelle ont obtenu les meilleurs résultats. Pourtant ces résultats, souvent obtenus avec le soutien d'ONG, de programme de coopération bilatérale, de coopération décentralisée, restent locaux. La volonté d'étendre et de transformer ces « micro-résultats » à un niveau politique national et même pan-sahélien est certainement légitime et même indispensable pour lutter contre la désertification.

Pour maximiser les chances de succès et pérenniser les acquis des travaux qui seront entrepris, des mesures d'accompagnement sont nécessaires et, notamment, des formations aux techniques de plantation et de régénération (pépinières modernes, conteneurs hors-sol, modes de transport des plants sur de vastes distances, *zaï...*), etc.

Enfin, la GMV doit aussi viser des bénéfices à long terme pour les populations. Les arbres ne constituent pas une activité de production séparée à limiter dans des espaces spécifiques, sans lien avec les autres productions. Bien au contraire, la plantation d'arbres d'espèces bien choisies est un apport considérable et ne peut réussir que si elle est intégrée avec les autres modes d'utilisation des terres (cultures, pastoralisme, cueillette, etc.). Cela suppose un cadre foncier et juridique qui permette aux populations vivant dans et de ces milieux de gérer au mieux ces différentes composantes en visant leur durabilité, ce qui est bien l'objectif de la GDT.

Au final, la GMV doit permettre des conditions de vie convenables pour les populations rurales et assurer une diversification des activités économiques sources de revenus (vannerie, gomme, tanins...) **en s'insérant dans un système productif familial cohérent.**

Propositions aux décideurs

Les résultats de la recherche en matière de développement des aménagements agro-sylvo-pastoraux permettent de formuler les recommandations suivantes :

1. **Adopter une approche souple permettant de valoriser les meilleures pratiques de gestion durable des terres**, prenant en compte les résultats des nombreux projets de ceintures vertes, de plantations et d'agroforesterie déjà réalisés, et les replacer dans un contexte de savoir-faire locaux.
2. **Identifier et vulgariser, lorsque cela est nécessaire, les techniques de régénération les plus efficaces**, facilement maîtrisables (techniquement et financièrement) et rentables.
3. **S'appuyer sur le processus de décentralisation en assurant la participation des populations** à la réalisation de la GMV, en leur assurant les bénéfices des retombées (notamment l'amélioration de la qualité des terres et des rendements et la diversification des activités génératrices de revenus) :
 - promouvoir des structures villageoises de gestion très légères, comme, par exemple, les marchés ruraux ;
 - renforcer la formation des membres des structures villageoises de gestion ;
 - mettre en place un cadre institutionnel adéquat, plus incitatif 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.
4. **Encourager l'intensification de l'agriculture et de l'élevage**, afin de réduire leur pression sur les ressources forestières.

Toutes ces recommandations convergent pour prôner l'intégration des plantations et de la régénération d'arbres dans le cadre global de la gestion durable des terres.

LISTE DES ABBREVIATIONS ET ACRONYMES

Cirad	La recherche agronomique pour le développement
CNULD	Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification
CSFD	Comité Scientifique Français de la Désertification
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCFA	Franc de la Communauté Financière Africaine
GDT	Gestion durable des terres
GMV	Grande Muraille Verte
GRN	Gestion des ressources naturelles
LCD	Lutte contre la désertification
ONG	Organisation non gouvernementale
RNA	Régénération naturelle assistée
SED	Stratégie d'Energie Domestique
TRIE	Taux de rentabilité interne économique
Unesco	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
USD	Dollar américain

BIBLIOGRAPHIE

- Abdoulaye T. & Ibro G.**, 2006. *Analyse des impacts socio-économiques des investissements dans la gestion de ressources naturelles, une étude de cas dans les régions de Maradi, Tahoua et Tillaberry au Niger*. Etude sahélienne Niger, Centre Régional d'Enseignement Spécialisé et agriculture, (CRESA), Niamey et Université Libre d'Amsterdam, 73 pp.
- Banzhaf M.**, 2005. *Les impacts socio-économiques de la gestion décentralisée des ressources naturelles, la contribution des conventions locales à la lutte contre la pauvreté*. Projet Pilote Droit Foncier et Systèmes Fonciers, Réseau Sectoriel Développement Rural en Afrique, GTZ, 91 pp.
- Bassett T.J. & Boutrais J.**, 2000 Cattle and trees in the West African savanna. In: *Contesting forestry in West Africa, The Making of Modern Africa*, Ashgate, Aldershot: 242-263.
- Baudena M. & Provenzale A.**, 2008. Rainfall intermittency and vegetation feedbacks in drylands. *Hydrology and Earth System Sciences*. 12: 679-689.
- Belaaz M.**, 2003. Le barrage vert en tant que patrimoine naturel national et moyen de lutte contre la désertification. In: *Comptes rendus du XII Congrès forestier mondial*, Québec, Canada, 21-28 septembre 2003.
- Belem B., Boussim J.I., Bellefontaine R. & Guinko S.**, 2008. 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.**, 1998. *Appui au projet franco-égyptien pour l'établissement en zone désertique des forêts artificielles d'Edfu, Qéna et Luxor, irriguées par les eaux usées de ces trois villes*. Rapport, Cirad – Forêt, Montpellier, France. 17 pp + Annexes.
- 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*, 16, 4: 315-317 et *Sécheresse*, n° 3^E, décembre 2005. www.secheresse.info/article.php?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. & Malagnoux M.**, 2008. Vegetative Propagation at Low Cost: A Method to Restore Degraded Lands (pp. 417-433). In: *The Future of Drylands. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research*. Tunis, Tunisia, 19-21 June 2006. Published jointly by C. Lee and T. Schaaf (Ed), UNESCO Publishing, Man and the Biosphere series (Paris) and Springer SBM (Dordrecht), 855 pp.
- Bellefontaine R., Ferradous A., Alifriqui M. & Monteuis O.**, 2010. Multiplication végétative de l'arganier (*Argania spinosa*) au Maroc : le projet John Goelet. *Bois et forêts des tropiques*. 304(2): 47-59.
- Bellefontaine R., Gaston A. & Petrucci Y.**, 2000. Management of natural forests of dry tropical zones. *FAO Conservation Guide*, 32, FAO, Rome, 318 pp. www.fao.org/docrep/005/w4442e/w4442e00.htm
- Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte Ph. & Bertault J.G.**, 2002. Trees outside forests. Towards better awareness. *FAO Conservation Guide*, 35, Rome, 2002, 234 pp. www.fao.org/DOCREP/005/Y2328E/Y2328E00.HTM
- Bensaid S.**, 1995. Bilan critique du barrage vert en Algérie. *Sécheresse*. 6: 247-255.
- Biielders C.L., Rajot J.L. & Michels K.**, 2004. L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturelles actuelles et méthodes de lutte. *Sécheresse*. 15: 19-32.
- Bodé S., Bonnet B. & Héroult D.**, 2010. *Sécurisation des systèmes pastoraux au Sahel face aux incertitudes climatiques, sociofoncières et économiques*. IRAM, Séminaire Agir en situation d'Incertitude, Montpellier, 22-24 nov. 2010. 13 pp.
- Bonnet B.**, 2003. *Chartes de territoire et conventions locales : vers un renforcement de la gouvernance locale des ressources naturelles?* Conférence sous-régionale. Les conventions locales au Sahel : un outil de co-gouvernance des ressources naturelles, Bamako, 2-5 décembre 2003.
- Borrini-Feyerabend G., Pimbert M., Farvar M. T., Kothari A. & Renard Y.**, 2010. *Partager le pouvoir : gouvernance élargie et cogestion des ressources naturelles de par le monde*. IIED.
- Boulain N., Cappelaere B., Séguis L., Favreau G. & Gignoux J.**, 2009. Water balance and vegetation change in the Sahel: A case study at the watershed scale with an eco-hydrological model. *Journal of Arid Environments*. 73: 1125-1135.
- Boysen T.**, 2008. *La gestion durable des ressources naturelles au niveau communal. L'intégration des secteurs agriculture, élevage et foresterie dans les planifications et actions communales - une comparaison des expériences de la Coopération allemande au Bénin, Mali, Niger, Sénégal et à Madagascar*. Sector Network for Rural Development (SNRD) - Réseau Sectoriel de Développement Rural (RSDR), Groupe : Gouvernance des Ressources Naturelles - Afrique Francophone. GTZ, 59 pp.
- Breman H. & Kessler J.J.**, 1997. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *European Journal of Agronomy*. 7: 25-33.
- Brenner A.J., Jarvis P.G. & Vandenbeldt R.J.**, 1995. Windbreak-crop interactions in the Sahel. 1. Dependence of shelter on field conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*. 75: 215-234.
- Briki M. & Ben Khadra N.** 2010. L'analyse des expériences de mise en place des ceintures vertes au niveau circum-Sahara. In: *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre*, pp. 262-271. IRD, Marseille, France.
- Bristow C.S., Hudson-Edwards K.A. & Chappell A.**, 2010 Fertilizing the Amazon and equatorial Atlantic with West African dust. *Geophysical Research Letters*. 37, L14807, 5pp.
- Bull L.J. & Kirkby M.J.**, 2002. *Dryland rivers – Hydrology and geomorphology of semi-arid channels*. Wiley Ed., 388 pp.
- Cao S., Tian T., Chen L., Dong X., Yu X., & Wang G.**, 2010. Damage Caused to the Environment by Reforestation Policies in Arid and Semi-Arid Areas of China. *Ambio*. 39: 279-283.
- Capalbo M. & Antle J.**, 1989. Incorporating social costs in the return to agricultural research. *American Journal of Agricultural Economics*. 71: 432-458.

- Chen Y.F., Cai Q.G. & Tang H.P.**, 2003. Dust storm as an environmental problem in north China. *Environmental Management*. 32: 413-417.
- Clément J.** 1982. Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales. Données concernant les pays de l'Afrique francophone au Nord de l'Equateur et recommandations pour la conduite de nouvelles études. *Bois et forêts des tropiques*. 198: 35-58.
- Colin de Verdière P.**, 1995. *Les conséquences de la sédentarisation de l'élevage au Sahel. Étude comparée de trois systèmes agropastoraux dans la région de Filingué (Niger)*. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon. 220 pp.
- Cornelis W.M. & Gabriels D.**, 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environments*. 61: 315-332.
- Cornet A.**, 2002. Desertification and its relationship to the environment and development: a problem that affects us all. In: Ministère des Affaires étrangères/adpf, Johannesburg. *World Summit on Sustainable Development. 2002. What is at stake? The contribution of scientists to the debate*: 91-125.
- D'Aquino P.** 2000. L'agropastoralisme au nord du Burkina Faso (province du Soum) : une évolution remarquable mais encore inachevée. *Autrepart*: 29-47.
- D'Herbes J.-M., Ambouta K. & Peltier R.**, 1997. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. John Libbey Eurotext, Paris.
- Di Vecchia A., Pini G., Sorani F. & Tarchiani V.**, 2007. *Keita, Niger: the impact on environment and livelihood of 20 years fight against desertification*. Centro Città del Terzo Mondo Politecnico di Torino, Turin, Italy. Working Paper n°26, 19 pp.
- Dia A., Duponnois R., & Wade A.**, 2010. *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre*. Marseille: IRD, France, 438 pp.
- Djerma A., Gremah A., Héroult 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 pp.
- Doat J.**, 1982. Les foyers améliorés, une solution possible pour atténuer la pénurie en bois de feu dans les pays du Tiers Monde. *Bois et forêts des tropiques*. 197: 45-59.
- Duponnois R., Planchette C., Thioulouse J. & Cadet P.**, 2001. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology*. 17(3): 239-251.
- 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., Planchette 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.
- Duponnois R., Ouahmane L., Kane A., Thioulouse J., Hafidi 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 microbial soil functionalities. *Soil Biology & Biochemistry*. In press.
- Fang L., Bai Z., Wei S., Yanfen H., Zongming W., Kaishan S., Dianwei L. & Zhiming L.**, 2007. Sandy desertification change and its driving forces in western Jilin Province, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 136: 379-390.
- Farage P., Ardo J., Olsson L., Rienzi E., Ball A. & Pretty J.**, 2007. The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: A modeling approach. *Soil and Tillage Research*. 94: 457-472.
- Gautier D. & Seignobos C.**, 2003. Histoire des actions de foresterie dans les projets de développement rural au Nord Cameroun. In: *Savanes africaines : des espaces en mutations*. Actes du colloque, Garoua, Cameroun, Montpellier France.
- Girard P.**, 2002. Quel futur pour la production et l'utilisation du charbon de bois en Afrique? *Unasylva*. 53: 30-35.
- Goudie A.S.**, 2009. Dust storms: Recent developments. *Journal of Environmental Management*. 90: 89-94.
- Griffon M. & Mallet B.**, 1999. En quoi l'agroforesterie peut-elle contribuer à la révolution doublement verte ? *Bois et Forêts des Tropiques*. 260: 41-51.
- Grouzis M. & Akpo L.E.**, 2003. Influence d'*Acacia raddiana* sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée dans le Ferlo sénégalais. In: Grouzis M., Le Floc'h E. éd. *Un arbre au désert, Acacia raddiana*, IRD Editions, Paris, 313 pp.
- 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.**, 2006. Le suivi écologique de Widou Thiengoly : Un patrimoine scientifique à développer et valoriser, pp. 47. Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature, des Bassins de rétention et des Lacs artificiels. Direction Eaux & Forêts, Chasses et Conservation des Sols, Saint Louis, Sénégal. In: *Joint International Conference*, pp. 338. The United Nations University, Alger, Algérie.
- Hiernaux P. & Bagoudou M.**, 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 pp.
- Jauffret S.**, 2001. *Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides : Application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien*. Thèse Univ. Aix Marseille III, France, 372 pp.
- Kerharo J. & Adam J.G.**, 1974. *La pharmacopée sénégalaise traditionnelle : plantes médicinales et toxique*. 1011 pp.
- Kirsch-Jung K. & Sulser M.**, 2000. *Codes locaux pour une gestion durable des ressources naturelles. Recueil des expériences de la Coopération technique allemande en Afrique*, Ed. GTZ.
- Koutou M., Ouedraogo D., Narcro H.B. & Le Page M.**, 2007. Déterminants de l'adoption du zaï forestier et perspectives de valorisation de la technique (province du Yatenga, Burkina Faso). In: *Actes des JSIRAUF*, pp. 1-9, Hanoi, Vietnam.

- Ky-Dembele C., Tigabu M., Bayala J., Savadogo P., Boussim I.J. & Oden P.C., 2010.** Clonal propagation of *Detarium microcarpum* from root cuttings. *Silva Fennica*. 44(5): 775-787.
- Lamers J.P.A., Michels K. & Vandenbeldt R.J., 1994.** Trees and windbreaks in the Sahel – Establishment, growth, nutritive, and calorific values. *Agroforestry systems*. 26: 171-184.
- 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 pp.
- Laurent B., Marticorena B., Bergametti G., Leon J.F. & Mahowald N.M., 2008.** Modeling mineral dust emissions from the Sahara desert using new surface properties and soil database. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 113, 20 pp.
- Lhoste P., 1995.** L'élevage et la gestion de la fertilité organique. *Hommes et Animaux-Inter Réseaux*, 9-11.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2004.** *Rapport National de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification*. Septembre 2004, 35 pp.
- Mainguet M., 1994.** Désertification : Quels sont les vrais problèmes ? *L'information géographique*. 58: 58-62.
- Mainguet M., 1999.** *Aridity: droughts and human development*. Springer.
- Mainguet M. & Gomez Da Silva G., 1998.** Desertification and drylands development: What can be done? *Land Degradation & Development*. 9: 375-382.
- Mainguet M., Dumay F., Mahfoud, Hacen L. & Georges J.C., 2000.** Nouakchott, une capitale du Sahel et les handicaps spécifiques de son développement. *Plurimondi II. An international Forum for research and Debate on human settlements*. 3: 101-114.
- Mainguet M. & Dumay F., 2006.** Combattre l'érosion éolienne : un volet de lutte contre la désertification. *Les dossiers thématiques du CSFD*. N°3 (avril 2006) Fighting wind erosion. One aspect of the combat against desertification (mai 2011). CSFD/Agropolis International, Montpellier, France. 44 pp.
- Mainguet M., Dumay F., Lemine Ould Elhacene M. & Georges J.C., 2008.** Changements de l'état de surface des ergs au nord de Nouakchott (1954-2000). Conséquences sur la désertification et l'ensablement de la capitale. *Géomorphologie : relief, environnement*. 3: 37-46.
- Malagnoux M., 2008.** Degraded Arid Land Restoration for Afforestation and Agro-Silvo-Pastoral Production through New Water Harvesting Mechanized Technology (pp. 269-282). In: *The Future of Drylands*. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research. Tunis, Tunisia, 19-21 June 2006. Published jointly by C. Lee and T. Schaaf (Ed), UNESCO Publishing, Man and the Biosphere series (Paris) and Springer SBM (Dordrecht), 855 pp.
- Malagnoux M., 2011.** *Gestion des plantations sur dunes*. Avril 2010, FAO, Rome, 43 pp.
- Mallet B., 2004.** *Les parcs agroforestiers en Afrique soudano-sahélienne*. Académie d'Agriculture de France. Séance du 2 juin 2004 : Agroforesterie des régions chaudes.
- Mellouhi M.S., 2006.** Lutter contre la désertification en Algérie : « De l'expérience à l'action ». In: *Joint International Conference "Desertification and the International Policy Imperative"* (Eds C. King, H. Bigas & Z. Adeel), pp. 97-99. The United Nations University, Algiers, Algeria.
- Meunier Q., Bellefontaine R., Boffa J.M. & Bitahwa N., 2006.** *Low-cost vegetative propagation of trees and shrubs. Technical Handbook for Ugandan rural communities*. Ed. Angel Agencies, Kampala. CIRAD, Montpellier, France, 66 pp.
- Michaelides K., Lister D., Wainwright J. & Parsons A.J., 2009.** Vegetation controls on small-scale runoff and erosion dynamics in a degrading dryland environment. *Hydrological Processes*. 23: 1617-1630.
- Minvielle J.-P., 1999.** *La question énergétique au Sahel*. Karthala Editions, Paris.
- Mohammed A.E., Stigter C.J. & Adam H.S., 1996.** On shelterbelt design for combating sand invasion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 57: 81-90.
- Nair P.K.R., Kumar B.M. & Nair V.D., 2009.** Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science – Zeitschrift Fur*. 172: 10-23.
- OSS, 2008.** *Initiative Grande Muraille Verte du Sahara et du Sahel / OSS ; CEN-SAD*. Note introductive n° 3. OSS, Tunis, 46 pp.
- Parungo F., Li Z., Li X.S., Yang D.Z. & Harris J., 1994.** Gobi dust storms and the great green wall. *Geophysical Research Letters*. 21: 999-1002.
- PDR-ADM, 1998.** *Programme de Développement Rural dans l'Ader Doutchi Maggia. Présentation et quelques éléments des réalisations*. Keita, Février 1998. Niger, Italie, FAO, Rome. 14 pp.
- Pelissier P., 1980.** *L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique noire*. Cahiers O.R.S.T.O.M, série Sciences Humaines, vol. XVII, n° 3-4: 131-136.
- Peltier R., 1996.** *Les parcs à Faidherbia*. Editions Quae. France.
- Peltier R., Dessard H., Rainatou Gado A. & Ichaou A., 2009.** Bilan après quinze ans de gestion communautaire d'une forêt villageoise de l'Ouest nigérien. *Sécheresse*. 20(4): 383-387 et *Sécheresse en ligne*, 20 (1e).
- Polglase P.J., Paul K.I., Khanna P.K., Nyakuengama J.G., O'Connell A.M., Grove T.S. & Battaglia M., 2000.** *Change in soil carbon following afforestation or reforestation: review of experimental evidence and development of a conceptual framework*. NCAS Technical Report N° 20. Australian Greenhouse Office, Canberra, ACT, Australia, pp. 117.
- Poupon H., 1976.** La biomasse et l'évolution de sa répartition au cours de la croissance d'*Acacia senegal* dans une savane sahéenne (Sénégal). *Bois et forêts des tropiques*. 166: 23-38.
- Poupon H., 1980.** *Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahéenne au nord du Sénégal*. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 351 pp.
- Puigdefabregas J., 2005.** The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surface Process and Landforms*. 30: 133-147.
- Raynaut C., ed. 1997.** *Sahels. Diversité et dynamiques des relations sociétés-nature*. Karthala, Paris, 430 pp.
- Reij C.P., 2009.** Reverdir le Sahel : le succès de la régénération naturelle des arbres. *Agridape*: 6-8.
- Reij C.P. & Botoni E., 2008.** *Etude Sahel. Impacts des investissements dans la gestion des ressources naturelles au Mali. Rapport de synthèse*. CILSS, Univ. Libre d'Amsterdam, GTZ/BMZ, 19 pp.

- 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*. CILSS, Univ. Libre d'Amsterdam, 61 pp.
- Reij C.P. & Smaling E.M.A.**, 2008. Analyzing successes in agriculture and land management in Sub-Saharan Africa: Is macro-level gloom obscuring positive micro-level change? *Land Use Policy*. 25: 410-420.
- Reij C.P. & Steeds D.**, 2003. *Success stories in Africa's drylands: supporting advocates and answering skeptics*. Paper commissioned by the Global Mechanism of the Convention to Combat Desertification. 32 pp.
- Requier-Desjardins M.**, 2007. Why should we invest in arid land? *Les dossiers thématiques du CSFD*, n°5. Comité Scientifique Français de la Désertification / Agropolis International, Montpellier, France.
- Requier-Desjardins M. & Caron P.**, 2005. La lutte contre la désertification Un bien public mondial environnemental ? Des éléments de réponse... *Les dossiers thématiques du CSFD*. N°1. Montpellier, France. 32 pp.
- Requier-Desjardins M., Adhikari B. & Sperlich S.**, 2010. Some notes on the economic assessment of land degradation. *Land Degradation and Development*, n/a. doi: 10.1002/ldr.1056.
- Rochette R.M.**, Edit. 1989. *Le Sahel en lutte contre la désertification. Leçons d'expériences*. CILSS, PAC, GTZ, Berlin 592 pp.
- Rognon P.**, 2000. *Biographie d'un désert : le Sahara*. L'Harmattan, Paris, 352 pp.
- Sandercock P.J. & Hooke J.M.**, 2010. Assessment of vegetation effects on hydraulics and of feedbacks on plant survival and zonation in ephemeral channels. *Hydrological Processes*. 24: 695-713.
- Schuster M., Duringer P., Ghienne J.P., Vignaud P., Taisso Mackaye H., Likius A. & Brunet M.**, 2006. The age of the Sahara desert. *Science*. 311(5762): 821.
- Sidibe A.**, 2005. Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. *Agricultural Water Management*. 71: 211-224.
- Skutsch M.M. & Ba L.**, 2010. Crediting carbon in dry forests: The potential for community forest management in West Africa. *Forest Policy and Economics*. 12: 264-270.
- Szott L.T., Fernandes E.C.M. & Sanchez P.A.**, 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest ecology and management*. 45: 127-152.
- Takimoto A., Nair P.K.R. & Nair V.D.**, 2008. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 125: 159-166.
- TEEB**, 2009. *The economics of ecosystems and biodiversity*. Interim, Report, a first assessment stemming from a G8R5 initiative sponsored by Germany and the European Commission.
- Tengberg A.**, 1995. Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. *Journal of Arid Environments*. 30: 265-282.
- UA-UE**, 2009. *Etude de préféabilité de l'initiative Grande Muraille Verte pour le Sahara et le Sahel + Annexes*. Union Africaine – Union Européenne.
- UA (Union Africaine), CEN-SAD & Sénégal**, 2008a. *Grande Muraille Verte. Modalités opérationnelles de mise en œuvre. Note conceptuelle*. Rapport. 11 pp.
- UA (Union Africaine), CEN-SAD & Sénégal**, 2008b. *Grande Muraille Verte. Modalités opérationnelles de mise en œuvre. Schéma conceptuel (document d'avant projet)*. Rapport. 35 pp.
- Volhand K. & Barry B.**, 2009. A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 131: 119-127.
- Wang X.H., Lu C.H., Fang J.F. & Shen Y.C.**, 2007. Implications for development of grain-for-green policy based on cropland suitability evaluation in desertification-affected north China. *Land Use Policy*. 24: 417-424.
- Wang X.M., Zhang C.X., Hasi E. & Dong Z.B.**, 2010. Has the Three Norths Forest Shelterbelt Program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiarid China? *Journal of Arid Environments*. 74: 13-22.
- Weber J.C., Larwanou M., Abasse T.A. & Kalinganire A.**, 2008. Growth and survival of *Prosopis africana* provenances tested in Niger and related to rainfall gradients in the West African Sahel. *Forest Ecology and Management*. 256: 585-592.
- Woodfine A.**, 2009. *The Potential of Sustainable Land Management Practices for Climate Change Mitigation and Adaptation in Sub-Saharan Africa*. Rapport technique pour TerrAfrica. FAO, Rome.
- WRI, IUCN, UNEP**, 2003. *Stratégie mondiale de la biodiversité*. French edition, published by the Bureau des Ressources génétiques et le comité français de l'IUCN.
- Yossi H., Kaya B., Traoré C.O., Niang A., Butare I., Levasseur V. & Sanogo D.**, 2006. *Les haies vives au Sahel : état des connaissances et recommandations pour la recherche et le développement*. World Agroforestry Centre.
- Yu K.J., Li D.H. & Li N.Y.**, 2006. The evolution of Greenways in China. *Landscape and Urban Planning*. 76: 223-239.
- Zarafi A.M., Abasse A.T., Bokar M., Niang A. & Traore C.O.**, 2002. *Analyse de l'adoption de la régénération naturelle assistée dans la Région de Maradi au Niger*. 2^e Atelier régional sur les aspects socio-économiques de l'agroforesterie au Sahel, Bamako, Mali, 4-6 mars 2002. 7 pp.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Ouvrages et articles à consulter

- Alexandre D.Y.**, 2002. *Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne : les arbres des champs du plateau central au Burkina Faso*. Karthala Editions. Paris.
- Arbonnier, M.**, 2009. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. Editions Quae. France.
- Barrière O., D'Herbès J.-M., Barrière C., Loireau M., Long G., Cornet A., Le Roy E., Rochegude A., Requier-Desjardins M., Bied-Charreton M., Makkaoui R., Petit O., Fournier A., Gandou Z., Traoré S., Fall ould Mohamédou M., Kremer W. & Thior P.**, 2003. *Foncier et désertification, quelle gestion patrimoniale ? Approche foncière environnementale pour un développement durable au Sahel*. IRD, Montpellier. France.
- Berge G., Diallo D. & Heem B.** 2005. *Les plantes sauvages du Sahel malien : les stratégies d'adaptation à la sécheresse des Sahéliens*. Karthala Editions. Paris.
- Bergeret A. & Ribot J.C.**, 1990. *L'arbre nourricier en pays sahélien*. Editions MSH. Paris.
- Bertrand A.**, 2006. *L'état et la gestion locale durable des forêts en Afrique francophone et à Madagascar*. Editions L'Harmattan. Paris.
- Bertrand R.**, 1998. *Du Sahel à la forêt tropicale: clés de lecture des sols dans les paysages ouest-africains*. Cirad. Montpellier, France.
- Boffa J.-M.**, 2000. *Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne*. Food & Agriculture Organization, Rome.
- Bonfils M.**, 1987. *Halte à la désertification au Sahel : guide méthodologique*. Karthala Editions. Paris.
- Bourgeot A.**, 1999. *Horizons nomades en Afrique sahélienne: sociétés, développement et démocratie*. Karthala Editions. Paris.
- Breman H. & Sissoko K.**, 1998. *L'intensification agricole au Sahel*. Karthala Editions. Paris.
- Campa C., Grignon C., Gueye M. & Hamond S.**, 1988. *L'acacia au Sénégal*. ORSTOM collection Colloques et séminaires. France
- Collectif**, 1980. *L'arbre en Afrique tropicale. La fonction et le signe*. Cahiers ORSTOM série Sciences Humaines, XVII (3-4).
- CRDI**, 1980. *Le rôle des arbres au Sahel : compte rendu du colloque tenu à Dakar (Sénégal) du 5 au 10 novembre 1979*. Centre de recherches pour le développement international. Canada.
- Farley K.A., Jobbagy E.G. & Jackson R.B.**, 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*. 11: 1565–1576.
- Fenske J.**, 2010. Land tenure and investment incentives: Evidence from West Africa. *Journal of Development Economics*, In Press, Corrected Proof.
- Floret C. & Pontanier R.**, 2000. *La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives*. John Libbey Eurotext. Montrouge, France.
- Grouzis M. & Le Floc'h É.**, 2003. *Un arbre au désert : Acacia raddiana*. IRD Editions. France.
- Lykke A.M., Kristensen M.K. & Ganaba S.**, 2004. Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. *Biodiversity and Conservation*. 13: 1961-1990.
- Mainguet M.**, 1995. *L'homme et la sécheresse*. Masson, Paris. 335 pp.
- Mainguet M., Dumay F. & Gerbe A.**, 2007. *Carte géomorphologique du Mali. Etude sur les mécanismes d'ensablement dans la vallée du fleuve Niger*. Programme environnemental d'appui à la lutte contre la désertification GEDAT (projet 8^e ACP MLI/021). Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement, Mali, 206 pp.
- Malagnoux M.**, 2007. Arid land forests of the world. Global environmental perspectives. In: *Afforestation and Sustainable Forests as a Means to Combat Desertification*, pp. 1-14. FAO, Jerusalem, Israël.
- Malagnoux M. & Jeanjean H.**, 1989. *Sylviculture et aménagement de Prosopis juliflora : Connaissance des peuplements et aménagement de l'acacia gommier en Mauritanie*. Rapport de mission. Propositions d'action. Centre technique forestier tropical, France, 73 pp.
- Malagnoux M., Sène E.H. & Atzmon N.**, 2007. Les forêts, les arbres et l'eau dans les terres arides : un équilibre précaire *Unasylla*. 229(58): 24-29.
- Mariko K.A.**, 1996 *La mort de la brousse: la dégradation de l'environnement au Sahel*. Karthala Editions. Paris.
- Michael Y.G., Waters-Bayer A. & Nicolas-Holloway M.**, 2007. *Les arbres sont notre épine dorsale : intégration de l'environnement et du développement local dans le Tigray en Éthiopie*. IIED. Londres.
- Mortimore M.J. & Adams W.M.**, 2001. Farmer adaptation, change and 'crisis' in the Sahel. *Global Environmental Change*. 11: 49-57.
- Olukoye G.A. & Kinyamario J.I.**, 2009. Community participation in the rehabilitation of a sand dune environment in Kenya. *Land Degradation & Development*. 20: 397-409.
- Perry R.A. & Goodall D.W.**, 1979. *Arid land ecosystems: structure, functioning, and management*. CUP Archive.
- Seignobos C.**, 1980. Des fortifications végétales dans la zone soudano-sahélienne (Tchad et Nord-Cameroun). *Cahiers ORSTOM, Série Sciences Humaines*. 17: 191-222.
- Tersiguel P. & Becker C.**, 1997. *Développement durable au Sahel*. Karthala Editions. Paris.
- Toure O.**, 2008. *Les aspects socio-économiques de la structuration des activités pastorales dans le Ferlo : les cas des parcelles et des plans de gestion*, pp. 37. Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature, des Bassins de rétention et des Lacs artificiels. Direction Eaux & Forêts, Chasses et Conservation des Sols, Saint Louis, Sénégal.
- Vertessy R.A.**, 2001. Impacts of plantation forestry on catchment runoff. In: *Plantations, Farm Forestry, and Water*. Water and Salinity Issues in Agroforestry no. 7, RIRDC Publication No. 01/20 (eds Nambiar EKS, Brown AG), pp. 9–19. RIRDC, Kingston, Australia.

- Vincke C., Diédhiou I. & Grouzis M.**, 2010. Long term dynamics and structure of woody vegetation in the Ferlo (Senegal). *Journal of Arid Environments*. 74: 268-276.
- Wei Y.P., Chen D., White R.E., Willett I.R., Edis R. & Langford J.**, 2009. Farmers' perception of environmental degradation and their adoption of improved management practices in Alxa, China. *Land Degradation & Development*. 20: 336-346.
- White F.**, 1986. *La végétation de l'Afrique: mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco/AETFAT/UNSO*. IRD Editions. France.

Sites internet

Agence Panafricaine de la Grande Muraille Verte

www.grandemurailleverte.org

Comité Scientifique Français de la Désertification, CSFD

www.csf-desertification.org

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO

www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/0301-b3.htm

Observatoire de la forêt méditerranéenne, OFME

www.ofme.org

Observatoire du Sahara et du Sahel, OSS

www.oss-online.org

TerrAfrica

www.terrafrica.org

Revue Sécheresse et changements planétaires

www.secheresse.info

Association Internationale des Forêts Méditerranéennes, AIFM

www.aifm.org

La désertification : dossier web de la collection *Science pour tous*, Cirad, septembre 2006

www.cirad.fr/publications-ressources/science-pour-tous/dossiers/la-desertification/les-enjeux

Dossier désert et désertification, *Sciences au Sud* (IRD), numéro 36, septembre-octobre 2006

www.ird.fr/content/download/4669/40720/version/1/file/sas_36_dossier.pdf

Autres

www.incendies-de-foret.org

www.foretpriveefrancaise.com

www.newtree.org

LEXIQUE

Agroforesterie : système d'utilisation des terres et de pratiques dans lesquelles les espèces ligneuses (arbres, arbustes) sont délibérément intégrées avec les cultures dans les parcelles agricoles.

Activité agro-sylvo-pastorale : pratique qui vise l'intégration des systèmes de productions en conciliant la préservation des arbres (et leurs usages : bois, fourrage, fruits...), la production végétale et la production animale.

Biodiversité* (ou diversité biologique) : variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

Dégradation des terres** : diminution ou disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des parcours, des pâturages, des forêts ou des surfaces boisées du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que :

- (i) l'érosion des sols causée par le vent et/ou l'eau ;
- (ii) la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques des sols ;
- (iii) et la disparition à long terme de la végétation naturelle.

Demi-lune : ouvrage de conservation des eaux et des sols composé d'un bassin en demi-cercle. Ouverte à la pioche et à la pelle, les terres de déblais sont disposées en bourrelet semi-circulaire, au sommet aplati, côté aval de la cuvette. Le pied aval du bourrelet et les deux extrémités sont, autant que possible bordés de cailloux. Les demi-lunes sont utilisées en général pour l'aménagement de terrains dont la pente varie de 0 à 3%. Elles visent à :

- récupérer des terres à des fins agro-sylvo-pastorales ;
- augmenter la disponibilité en eau pour les plantes ;
- réduire le ruissellement des eaux pluviales et l'érosion des sols et favoriser l'infiltration.

Désertification ** : dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.

Ecosystème* : complexe dynamique formé de communautés de plantes d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle.

Filao (*Casuarina equisetifolia*) : arbre d'origine australienne de la famille des Casuarinacées. C'est un arbre pionnier, capable de coloniser des sols très pauvres en éléments minéraux et de l'enrichir en azote grâce à ses racines qui possèdent des nodules fixateurs d'azote (symbiose avec une bactérie du sol du genre *Frankia*).

Gestion durable des terres : utilisation des ressources en terres, notamment des sols, de l'eau, des animaux et des plantes pour produire des biens et satisfaire les besoins humains sans cesse croissants, tout en préservant leur potentiel de production à long terme et leurs fonctions dans l'environnement.

Neem (ou margousier, *Azadirachta indica*) : arbre originaire d'Inde appartenant à la famille des Méliacées.

Parcs agroforestiers : associations permanentes entre arbres et cultures que l'on trouve sur plusieurs dizaines de millions d'hectares dans toute l'Afrique sèche, du Sénégal jusqu'au Kenya. Ils associent une ou plusieurs espèces arborées (*Faidherbia albida*, Karité, Néré, Baobab...) à une ou plusieurs cultures vivrières (céréales, tubercules...) ou de rente (coton en particulier), avec la présence fréquente de bovins et caprins divaguants ou conduits hors des périodes de culture.

Les espèces forestières associées produisent des fruits, des feuilles ou des gommages pour l'alimentation humaine car riches en matières grasses (Karité), en glucides (Néré) ou en sucres (*Acacia senegal*, *Sterculia setigera*), ou en vitamines (Tamarin, Baobab). Elles fournissent également du fourrage et de l'ombrage pour les animaux, participent au maintien et à la reconstitution de la fertilité des sols (*Faidherbia albida*) tout en approvisionnant les populations en bois de feu et d'artisanat.

Les parcs agroforestiers sont le plus souvent des constructions sociales, même si les arbres sont rarement plantés, car issus de défriches sélectives réalisées par les paysans lors des premières mises en culture à partir des formations forestières initiales. Les paysans éliminent ainsi progressivement un certain nombre d'espèces arborées ou arbustives non souhaitées et conservent ou privilégient les espèces souhaitées, construisant ainsi progressivement un parc agroforestier avec une densité d'arbres souvent faible (quelques dizaines d'arbres à l'hectare, en relation avec les cultures pratiquées et les espèces forestières). (Mallet, 2004).

Pépinières « volantes » : pépinières temporaires constituées de petits trous ou potets dans lesquels plusieurs graines d'arbre sont semées, et d'où sont ensuite prélevés des sujets.

Régénération naturelle assistée : pratique agroforestière dont les objectifs sont la protection des terres de cultures à travers la lutte contre l'érosion éolienne et hydrique, l'amélioration de la fertilité des sols, la production de bois de chauffe ou de service, la production du fourrage pour les animaux et la réduction de l'évapotranspiration. Cette pratique consiste à laisser au cours du défrichage (en saison sèche ou en saison des pluies) un à trois rejets issus des souches des différents arbres et arbustes (entre 80 à 150 pieds à l'hectare) pour qu'ils poursuivent leur croissance.

Les différentes étapes de la réalisation de la RNA sont :

- le repérage et la sélection des rejets à protéger ;
- la coupe des rejets non sélectionnés ;
- l'entretien et élagage des rejets sélectionnés chaque année ;
- l'exploitation raisonnée des branches issues des arbres régénérés en fonction des espèces et des besoins (fourrages, bois, matière organique, fruits, etc.).

Services rendus par les écosystèmes : avantages ou bénéfiques que les écosystèmes procurent aux hommes. Ils sont classés en quatre catégories (WRI, IUCN, UNEP, 2003) :

- ▶ les **services de prélèvement** : produits que les hommes tirent des écosystèmes tels que la nourriture, les éléments énergétiques, les fibres et l'eau douce ;
- ▶ les **services de régulation** : avantages que les hommes tirent de la régulation des services que procurent les écosystèmes, y compris la maintenance de la qualité de l'air, la régulation du climat (inondations, sécheresses), le contrôle de l'érosion des sols, la régulation des maladies humaines, et l'épuration des eaux ;
- ▶ les **services d'auto-entretien** : services nécessaires à la production de tous les autres bénéfiques que procurent les écosystèmes, tels que la production primaire, la production de l'oxygène, le développement du cycle nutritionnel et la formation des sols ;
- ▶ les **services culturels** : bénéfiques immatériels que les hommes tirent des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement de la connaissance, la réflexion, le divertissement, etc.

Symbiose mycorhizienne : La grande majorité des végétaux terrestres vivent en étroite collaboration (symbiose) avec de nombreux organismes du sol. Une symbiose mycorhizienne est l'association entre un champignon et les racines d'une plante. Cette symbiose profite tant à la croissance et la protection des plantes qu'à la propagation et la survie des champignons. Le rôle de la symbiose mycorhizienne a longtemps été réduit à son impact sur la nutrition minérale de la plante hôte et en conséquence sur le développement des espèces végétales. Or, ce processus symbiotique interagit de manière significative avec les autres composantes biologiques de l'écosystème (ex : microflore microbienne, microfaune du sol...) pour optimiser l'implication de ces microorganismes dans le fonctionnement des cycles biogéochimiques majeurs (cycles de l'azote, du phosphore et du carbone). Des résultats récents ont également démontré l'importance de la symbiose mycorhizienne dans la structuration de la végétation terrestre : diversité végétale, stabilité et productivité de l'écosystème.

Zai : technique ayant pour but de traiter les aires dégradées et les sols indurés en provoquant une modification de la structure du sol par un apport localisé d'eau de ruissellement et l'apport de fumure organique. Le *zai* consiste à creuser des petites poches en disposant la terre excavée en arc de cercle à l'aval du trou de manière à capter les eaux des pluies au bénéfice des plantes semées. Les objectifs sont de :

- permettre la mise en valeur des espaces dénudés ou abandonnés ;
- réduire l'érosion hydrique et favoriser l'infiltration sur les sols imperméables ;
- obtenir des récoltes normales en dessous de 300 mm de précipitations ;
- collecter les eaux et les mettre à la disposition des plantes.

* Plusieurs définitions existent, celles-ci ont été adoptées au niveau international dans le cadre de l'UNCBD (article 2)

** Plusieurs définitions existent, celle-ci a été adoptée au niveau international dans le cadre de la CNULD (article 1)