

# TRANSFORMER LES PAYSAGES

TRANSFORMER LES VIES. LE RÔLE DE LA GESTION DURABLE DES ZONES TAMPONS

TRANSFORMER  
LES PAYSAGES  
TRANSFORMER  
LES VIES

LA FORMULE 3R  
ÉTENDUE!

# **Transformer les paysages, transformer les vies**

Le rôle de la gestion durable des zones tampons

# Remerciements

Les principaux auteurs de cet ouvrage sont Frank van Steenberg, Albert Tuinhof et Lenneke Knoop.

Nous remercions également les auteurs suivants pour leurs précieuses contributions:

Abraham Abhishek, Abraham Mehari Haile, Ahang Kowsar, Asmerom Gebreyesus, Carol Ann Miles, Chantita Setalpruk, Chris Reij, Francesco Sambalino, Gholamreza Rahbar, Gunnar Larson, Hamado Sawadogo, Jody Butterfield, Juergen Voegele, Kevin Smith, Kifle Woldemariam, Liping Jiane, Luuk Fleskens, Martin van Beusekom, Michael van der Valk, Olaf Verheijen, Omar Bamaga, Penelope Keenan, Rudolph Cleveringa, Saleh Al Dhubbi, Seifu Kebede, Simon Chevalking et Sjef Kaufmann.

L'édition du texte a été coordonnée par Michael van der Valk. Les infographies ont été réalisées par Wiltze Valkema, du studio Pankra. La couverture et les illustrations ont été conçues par MetaMeta Communications. Le présent ouvrage a été imprimé par Grafisch Service Centrum Wageningen.

La réalisation de l'ouvrage n'a été rendue possible que grâce à la généreuse contribution du FIDA et au soutien du Comité national néerlandais IHP-HWRP (UNESCO-WMO).



ISBN : 978-90-79658-00-8;

F. van Steenberg, A. Tuinhof et L. Knoop, 2011. Transformer les paysages, transformer les vies. Le rôle de la gestion durable des zones tampons (Transforming Lives Transforming Landscapes. The Business of Sustainable Water Buffer Management), Wageningen, Pays-Bas: 3R Water Secretariat.



# Préface

L'eau constitue un élément clé de la sécurité alimentaire. Nous ne pourrions garantir la sécurité alimentaire mondiale sans assurer la sécurité de l'eau. La gestion intégrée des terres et des réserves en eau – thème de cette publication – est centrale. Cet ouvrage présente trois importants messages. Premièrement, nous devons intensifier nos efforts. L'échelle des actions n'est pas seulement la somme d'un ensemble d'actions ponctuelles. Elle concerne la transformation des paysages, les processus afférents aux sols et aux eaux souterraines, les microclimats, et en réalité toute l'économie des pays. Ceci exige des systèmes de gouvernance et des modèles de gestion nouveaux, mais déjà testés, basés sur les bénéfices qualitatifs que peut procurer une gestion intégrée des paysages. Nous devons nous écarter des interventions isolées et des investissements au coup par coup n'apportant que des taux de rendement ponctuels. Nous avons besoin d'un changement global.

Deuxièmement, si nous voulons assurer la gestion des terres et de l'eau, nous ne devons pas « diviser pour régner » les ressources en eau. Nous devons créer des réserves plus importantes et résilientes et étendre la chaîne des usages de l'eau. Cette gestion doit inclure la recharge, la retenue et la réutilisation (les 3 R), ainsi qu'une meilleure appréciation des liens existant entre terres, humidité, eaux souterraines et cours d'eau. Certaines techniques conviennent bien à certaines régions mais ne sont pas connues de tous ou y sont appliquées de manière inappropriée. Le présent ouvrage en décrit un certain nombre. Les résultats sont très prometteurs.

Enfin, notre troisième message consiste à affirmer que la gestion des zones tampons devrait faire partie intégrante de la croissance verte. Les exemples présentés dans le livre soulignent que « le développement durable favorise l'économie », mais aussi que « le développement économique favorise le développement durable », ce qui en dernière analyse signifie une amélioration des conditions de vie pour tous. Dans un monde de plus en plus stressé, contraint de faire face aux risques liés au changement climatique, une gestion intégrée des paysages et de l'eau offre des emplois, des chances accrues pour les jeunes, des conditions de vie plus sûres, un essor des services environnementaux et de nouvelles opportunités économiques.

En conclusion, nous vous invitons, non seulement à lire ce livre, mais surtout à réfléchir aux questions d'échelle et à appliquer certains des principes et idées des études de cas présentées à votre propre domaine.

Kevin Cleaver  
Vice-président associé  
Programmes  
IFAD

Alexander Mueller  
Directeur général adjoint  
Gestion des ressources naturelles et de  
l'environnement  
FAO



# Transformer les paysages, transformer les vies

## Le rôle de la gestion durable des ressources en eau

Préface	III
1 Introduction : transformer les paysages, créer des zones tampons	2
2 Savoir quelles actions entreprendre, où et comment	6
3 Études de cas	15
3.1 Reverdir pour améliorer la conservation des sols et leur humidité - Niger et Burkina Faso	18
3.2 Conservation des sols et de l'eau à grande échelle, Tigray, Éthiopie	24
3.3 Rétention de l'eau au moyen de « joues de singes » (monkey cheeks), Thaïlande	32
3.4 Collecte des sédiments au moyen de barrages de rétention Plateau de Læss, Chine	40
3.5 Épandage des eaux de crue, Iran	46
3.6 Utilisation des paysages naturels, Turkménistan	52
3.7 Fanya juu, système de cultures en terrasses, Tanzanie et Kenya	58
3.8 Maximiser la recharge, barrages de retenue en cascade, Yémen	64
3.9 Barrages de rétention des eaux souterraines, Maharashtra, Inde	70
3.10 Pâturage intensif contrôlé, prairies en zone de savane, Afrique	78
3.11 Rôle des puits tubulaires peu profonds dans les plaines inondables, Afrique	84
3.12 Paillis de plastique, solutions alternatives biodégradables, Chine et États-Unis	90
4 Coûts et bénéfices de la gestion des zones tampons	98
5 Modèles de gestion	104
Annexe	112

# 1. Introduction : transformer les paysages, créer des zones tampons



Ce livre traite de la gestion durable des terres et du développement des zones tampons et présente des études de cas sur ces thèmes. Il a pour ambition de participer au débat sur l'économie verte, car le fait d'investir dans la gestion des ressources naturelles donne du sens à l'économie. Cela vaut également pour les investissements effectués en matière de terres, d'eau et de couverture végétale. Certains des paramètres peuvent différer et le retour sur investissements n'est pas toujours immédiat.

Mais fondamentalement, le retour financier et le dividende économique découlant des investissements faits dans la gestion intégrée des paysages sont positifs. L'impact social est aussi important – l'investissement en faveur d'une gestion durable des terres et des réserves en eau transformera les vies et les économies. L'existence de réserves donne un sentiment de sécurité et l'assurance que, quoi qu'il arrive, les moyens de subsistance seront assurés.

## Encadré 1 : La recherche d'actions « g`triplement gagnantes »

Les barrières existant entre la réduction de la pauvreté, le développement rural et la gestion des ressources naturelles ont tendance à s'estomper. C'est d'ailleurs ce qui ressort du récent examen du portefeuille du FIDA, qui recommande de rechercher des solutions « triplement gagnantes » en intégrant le développement agricole à la gestion de l'écosystème et à l'adaptation aux changements climatiques (Buck et al. 2011). De nouveaux concepts de programmation de la gestion de l'environnement et des ressources naturelles, recommandés par l'étude, sont présentés comme centraux : il s'agit de la gestion intégrée des paysages et des actions à grande échelle. Ils sont soutenus par des financements innovants allant d'assurances au paiement des services environnementaux. Dans chaque domaine, la gestion intégrée des paysages aidera au maintien et à la restauration des services environnementaux, à l'optimisation des retours issus d'une agriculture durable et à l'amélioration des conditions de subsistance de ceux dont la vie dépend des paysages. La gestion des paysages doit être défendue par les institutions responsables de la planification et de la négociation locales, par les politiques publiques, les mécanismes du marché et les normes et valeurs.

Le principal message est que « la dégradation environnementale à grande échelle n'est pas inévitable et qu'il est possible d'inverser la tendance ». <sup>1</sup> L'étude GLADIS menée par la FAO et l'ISRIC (Bai et al, 2008) a montré que la dégradation des sols a continué de croître dans les années 1991-2008, concernant à présent près d'un quart des terres agricoles mondiales. Le message principal de

---

1 Voir aussi Liu, J. (2010)

## Encadré 2: Les 3 R - Recharge, Retenue et Réutilisation

### Recharge

La recharge permet d'alimenter en eau le tampon, et par conséquent d'accroître la circulation de l'eau. La recharge peut être naturelle – l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement dans le paysage – ou gérée (recharge artificielle) au moyen de structures spéciales ou grâce à une planification adaptée des routes et des revêtements de surface. La recharge peut également être un sous-produit bienvenu, par exemple d'une irrigation inefficace ou de fuites des systèmes de distribution d'eau.

### Retenue

La retenue ralentit l'écoulement latéral des eaux souterraines. Elle permet de remplir la nappe phréatique et de créer de larges tampons « humides ». Il est ainsi plus facile de récupérer et de faire circuler l'eau. La retenue permet d'étendre la chaîne de l'eau. Elle permet également de relever le niveau de la nappe phréatique. Le fait de ralentir, ou même de contrôler, les écoulements latéraux de la nappe affecte l'humidité des sols et leur composition chimique, ce qui peut avoir un impact important sur la productivité agricole.

### Réutilisation

La réutilisation est le troisième élément de la gestion des zones tampons. Le défi essentiel des 3 R consiste à assurer une circulation de l'eau maximale. Résoudre la question de la rareté consiste non seulement à gérer la demande en réduisant l'utilisation de l'eau, mais également en s'assurant qu'elle circule de manière satisfaisante. Deux processus sont ici particulièrement importants. Le premier consiste à gérer les effets non bénéfiques de l'évaporation dans l'atmosphère. L'eau qui s'évapore « quitte » le système et ne peut plus y circuler. Il conviendrait, lorsque cela s'avère possible, de tenter l'inverse, c'est-à-dire de capturer l'humidité de l'air, comme la rosée. L'autre processus a trait à la gestion de la qualité de l'eau, destinée à s'assurer que l'eau peut passer d'une utilisation à une autre, y compris lorsque la qualité de l'eau change en fonction de son utilisation le long de la chaîne de l'eau.

cette étude mondiale fait cependant état d'une situation contrastée. La qualité des terres décline dans certaines zones (24 % de la surface totale des terres), mais s'améliore dans d'autres (16 %). Plusieurs exemples présentés dans notre ouvrage en témoignent. Le passage d'une situation de dégradation à une production durable a, dans certains cas, été très rapide (quelques années). Il est surprenant de constater que ce changement s'est également produit dans des régions où la pression démographique augmentait – il semblait même que les deux tendances allaient de pair. Il existe de nombreux exemples montrant le lien entre « la croissance de la population, plus d'arbres, plus de bétail, plus d'eau, une vie meilleure et des économies plus prospères »<sup>2</sup>

---

2 Voir également Critchley, W. (2010)

Il est essentiel d'engager un processus d'inversement de la tendance partout et d'assurer un meilleur stockage de l'eau dans le paysage (eaux souterraines peu profondes, humidité du sol et réservoirs

de surface locaux). Le concept central est celui des 3 R: recharge, retenue et réutilisation. La recharge alimente en eau la zone tampon, la retenue ralentit son écoulement et augmente le niveau des nappes phréatiques, et la réutilisation s'emploie à faire circuler l'eau dans le système (Encadré 2). Nous pensons qu'une crise locale de l'eau ne se résout pas simplement en allouant une ressource rare. Il s'agit d'étendre autant que possible la chaîne de l'utilisation et de la réutilisation de l'eau au sein d'un bassin, en prenant en compte les populations et l'environnement du bassin tout entier.

Sur tous ces points, la gestion des paysages est essentielle, et intimement liée à celle des zones tampons. Il est essentiel d'optimiser la recharge tant à partir de processus naturels que par des mesures spéciales. Cela va de l'aménagement de trous de plantation dans le paysage (terrasses, diguettes et tranchées d'infiltration) à la nécessité de tirer profit des éléments naturels du paysage (dépressions, zones humides, digues et crêtes) pour ralentir et guider l'eau vers des zones de forte recharge. La gestion du paysage affecte aussi la retenue: le fait d'éviter la formation de ravines ou de colmater ravines et drains profonds permet à l'eau de rester dans le paysage et à l'humidité de pénétrer dans le sol. La gestion des territoires est la clé pour créer de larges tampons humides – des zones où l'eau « perdue » par infiltration est facilement récupérée et réutilisée.

Le présent ouvrage vous propose une série de cas de transformation du paysage à grande échelle, dont certains sont très innovants. Plusieurs d'entre eux montrent que la gestion durable des zones tampons peut être faite à grande échelle – comme le prouvent le développement agroforestier au Niger, le programme de conservation des sols et de l'eau de Tigray, en Éthiopie, le programme de rétention d'eau (« joues de singe ») en Thaïlande ou la réhabilitation du plateau de Loess en Chine. Toutes ces interventions couvrent des zones très vastes, dépassant 500 000 ha. L'argument relatif à l'échelle peut être poursuivi. Dans de nombreuses régions, la gestion des tampons devrait être envisagée à grande échelle. L'essentiel est la transformation totale des paysages, et non des interventions ponctuelles et non coordonnées. Si la transformation se fait à l'échelle, nombre de processus changent avec elle: l'hydrologie, les processus de sédimentation, les microclimats, la chimie des sols et les cycles des nutriments ainsi que la reconstitution de la couverture végétale. En travaillant à l'échelle, il est aussi plus facile de gérer les effets secondaires intervenant soit localement, soit en aval. Surtout, cette approche permet d'opérer la transformation des vies et des économies.

Cette publication comprend cinq chapitres. Le premier aborde la question des processus de gestion du paysage à l'échelle – actions à mener, sites, méthodes. Le chapitre 2 présente le lien existant entre la gestion des zones tampons et les sédiments. Le chapitre 3 propose un certain nombre d'études de cas choisis en fonction de leur dimension et pour leur contenu innovant. Ils suggèrent qu'il existe de nombreuses solutions pour favoriser une gestion intégrée des paysages et des zones tampons. Ils mettent en évidence la nécessité d'une approche commerciale – de considérer la démarche comme faisant partie de la « croissance verte » plutôt que de l'« économie du bien-être ». Cette approche exige de faire les bons choix en vue d'optimiser coûts et bénéfices et d'élargir la palette de modèles de gestion concernant les zones tampons et les 3 R. Cet aspect est traité dans les chapitres 4 et 5. Dans de nombreuses régions, des progrès impressionnants ont été réalisés pour renforcer la résilience au changement climatique et contribuer simultanément

à la sécurité alimentaire et à la croissance de la production. On observe toutefois de nombreux cas d'opportunités non exploitées, parfois dans les régions les plus pauvres du monde. En dernière analyse, cette publication vise à faire progresser le débat sur la manière de mettre en œuvre des techniques de gestion intégrée du paysage « triplement gagnantes » et de développer les mécanismes de financement correspondants.

## Références

Bai, Z.G., Dent, D.L., Olsson, L. and Schaepman, M. E. (2008). Global assessment of land degradation and improvement: Identification by remote sensing. GLADA report, 5. Rome/Wageningen : FAO/ ISRIC.

Buck, L. C. Wallace, S. Scherr and A. Har (2011). Integrating agricultural development with ecosystem management and climate adaptation: strategies for enhancing investments. IFAD and Ecoagriculture Partners.

Critchley, W. (2010). More People, More Trees - Environmental Recovery in Africa. Practical Action Publishing.

Liu, J. (2010). Hope in a changing climate. Environmental Education Media Project (EEMP). [Online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/498-media-2-hope-in-a-changing-climate> [accessed on 24 August 2011].

Van Steenberg, F. and Tuinhof, A. 2009. Managing the water buffer for development and climate change adaptation. Wageningen, The Netherlands: 3R Water Secretariat.

## 2. Savoir quelles actions entreprendre, où et comment

Dans la gestion intégrée du paysage et des zones tampons à grande échelle, il est important de savoir quelles actions entreprendre et sur quels sites. Il convient de préciser s'il s'agit de zones où les sédiments sont retirés ou retenus et où de nouvelles terres sont établies ; de zones où l'eau s'infiltré – il faut alors déterminer la couverture végétale et la gestion des terres qui soutiennent ce processus. Il convient d'analyser la manière dont les eaux souterraines peu profondes voyagent, comment elles alimentent les cours d'eau et sont alimentées par eux, leurs liens avec l'humidité des sols et la manière dont la gestion de cette humidité interagit avec les microclimats. Ces liens sont multi-formes et spécifiques à chaque paysage. Ils concernent le climat (aride ou humide), l'hydrogéologie (surfaces imperméables ou zones d'infiltration, présence d'aquifères peu profonds ou profonds, interaction avec les cours d'eau), l'état des pentes et des sols (érodable, profond ou peu profond, capacité d'infiltration) et l'économie de la région (agriculture, pastoralisme, forêts, nature, villes et énergie hydraulique). Même si l'on a une bonne compréhension de certains de ces liens, il n'existe pas de recette miracle.

Par ailleurs, la gestion des zones tampons à l'échelle interagit fortement avec la planification de l'utilisation des terres, y compris celle des zones construites et des routes. Par exemple, les routes situées sur des remblais affectent sensiblement les ruissellements de surface, et par conséquent l'infiltration. Un enseignement tiré de certaines transformations spectaculaires du paysage décrites dans le présent manuel montre l'importance d'un fort leadership local: mouvement auto-organisé, processus de planification locaux, autorités locales intervenant comme facilitateur, agriculteurs jouant le rôle d'innovateurs et d'éducateurs. Dans une telle approche, le succès engendre le succès, et l'échelle des actions conduit aux transformations désirées. Dans la démarche consistant à définir les actions à entreprendre et les zones concernées, quatre processus de gestion du paysage revêtent une importance particulière:

1. La recharge, la retenue et la réutilisation de l'eau (les 3 R)
2. La sédimentation
3. L'utilisation des terres et de la végétation
4. Les microclimats

La recharge – la première étape des 3 R – est un élément essentiel de la gestion des zones tampons. Elle définit les zones où il convient ou non d'infiltrer les eaux de pluie, et la manière d'optimiser la recharge. Dans les régions très arides, par exemple, des surfaces dures et imperméables où l'eau de pluie ne s'infiltré pas permettent de concentrer les eaux de ruissellement dans quelques zones ressemblant à des oasis et d'assurer la subsistance des habitants. Les cas de l'Iran et du Turkménistan présentés ici en sont de claires illustrations. L'infiltration est le processus par lequel l'eau située à la surface du sol pénètre en profondeur. Le taux d'infiltration définit la capacité d'absorption des eaux de pluie ou de l'irrigation. Il se mesure en millimètres par heure. Le taux décroît à mesure que le sol se sature. Lorsque le taux de précipitation excède le taux d'infiltration, cela entraîne généralement la formation d'eaux de ruissellement, sauf s'il existe une quelconque

barrière physique. La situation dépend de la conductivité hydraulique du sol saturé proche de la surface, c'est-à-dire de la capacité du sol à faire circuler l'eau. Une partie des infiltrations restera dans la couche supérieure du sol, sous la forme de ce que l'on appelle « l'eau verte », le reste pénétrant progressivement verticalement et horizontalement dans le sol et les couches sédimentaires du sous-sol. Il peut arriver que l'eau pénètre dans un cours d'eau par suintement dans la berge, créant des « débits de base » constants. Une partie des eaux peut s'infiltrer plus en profondeur et recharger les formations aquifères. Lorsque les aquifères sont suffisamment poreux pour que l'eau s'écoule librement, les populations peuvent forer des puits dans l'aquifère et utiliser l'eau pour leurs propres usages. L'eau peut circuler sur de longues distances ou rester dans des réservoirs souterrains pendant de longues périodes avant de retourner à la surface ou de s'infiltrer dans d'autres masses d'eau, telles que cours d'eau et océans.

**Il existe un certain nombre de facteurs affectant le taux de recharge et c'est dans une large mesure une des fonctions du paysage.** Partout dans le monde, une partie des eaux provenant de la pluie et de la neige s'infiltré dans le sol et dans les roches. La proportion d'eau qui s'infiltré dépend principalement des facteurs suivants: nature des précipitations, saturation du sol et caractéristiques du paysage et des mesures que l'on qualifie de mesures de recharge artificielle (Tableau 1). Le type de couverture végétale joue un rôle important, dans la mesure où les forêts et les prairies permettent de gérer des niveaux d'infiltration élevés alors que les zones construites sont à l'origine de la plupart des ruissellements (Figure 1).

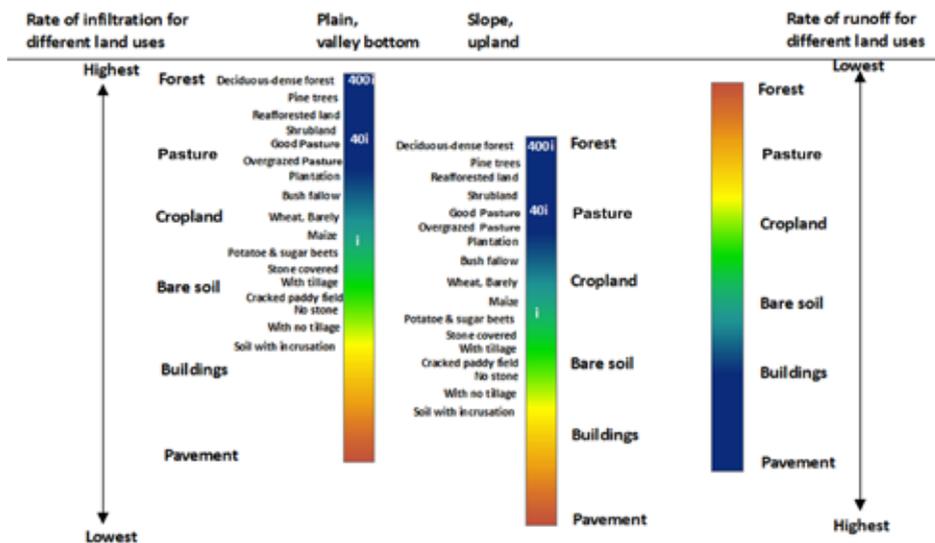


Figure 1: Résumé générique du taux d'infiltration et des taux de ruissellement selon différents types d'utilisation des terres. Le taux d'infiltration des différents types de pentes est également indiqué (i, 401 et 4001 se réfèrent à l'échelle d'infiltration entre différents types d'utilisation des terres).

Tableau 1: Guide rapide: Qu'est-ce qui détermine l'infiltration au niveau du paysage?

Paramètres affectant l'infiltration	Processus/mécanisme de contrôle de l'infiltration
<b>Propriétés des précipitations et hydrologie du sol</b>	
Durée des précipitations	La capacité d'infiltration décline rapidement pendant le début d'une tempête et tend ensuite vers une valeur pratiquement constante après deux heures environ et pour le reste de l'événement.
Intensité des précipitations	Des pluies intenses produisent plus d'inondations que d'infiltration.
Contenu d'humidité du sol (initial - condition précédente)	Comme une éponge mouillée, le sol déjà saturé par des précipitations antérieures ne peut pas absorber beaucoup plus d'eau. Les nouvelles précipitations se transforment donc en ruissellements.
Évapo-transpiration	Une partie de l'infiltration demeure proche de la surface du sol, là où les plantes forment leurs racines. Les plantes ont besoin de cette eau peu profonde pour croître. Par le processus d'évapo-transpiration, l'eau retourne dans l'atmosphère.
<b>Propriétés du profil pédologique</b>	
Texture du sol	L'eau s'infiltré plus facilement dans les larges pores d'un sol sableux (capacité d'infiltration supérieure) que, par exemple, au travers des pores plus petits d'un sol argileux (capacité d'infiltration inférieure). Le gonflement du sol affecte plus fortement le taux d'infiltration. Lorsqu'il est crevassé, des agrégats sont inondés d'eau riche en éléments argileux, et les fissures se ferment progressivement, rétablissant la semelle de labour.
Structure du sol	La structure du sol se réfère à la manière dont les particules minérales s'agrègent pour former des blocs ou des agrégats. Un sol présentant de larges fissures a un taux d'infiltration supérieur. Les gouttes d'eau frappent la surface avec une force considérable qui cause une décomposition des agrégats et introduit les fines particules dans les pores supérieurs du sol. Il en résulte une obstruction des pores et la formation d'une couche fine, mais dense et compacte, à la surface du sol, qui réduit sensiblement le taux d'infiltration. Le croûtage diminue l'infiltration, augmente l'érosion et empêche l'établissement de la végétation. Ce phénomène est plus important dans les sols exposés que dans les sols recouverts de végétation. On attribue l'importance de ce croûtage au fait que les sols exposés contiennent du sel moins soluble et du carbone labile (C) et à une augmentation de la dispersion de l'argile. On attribue le croûtage des parcelles brûlées à une réduction du carbone, à des sels solubles et à un pourcentage supérieur de sodium échangeable.

Propriétés du sol provoquées artificiellement. Structure des pores du sol provoquée par le travail du sol	Les systèmes de pores du sol en cas de travail conventionnel de la terre (labour à une profondeur de 20 cm) comprennent une contribution supérieure de grands pores facilitant le débit, comparée à celle d'un traitement réduit ou inexistant, augmentant l'infiltration et la capacité de stockage de l'eau.
Vers de terre, termites, cloportes, organismes fousseurs	En augmentant la macroporosité du sol et en créant des voies d'écoulement préférentiel, vers de terre, termites, cloportes et organismes fousseurs augmentent le taux de rétention et d'infiltration de l'eau.
<b>Propriétés du paysage et position du paysage et propriétés associées du sol</b>	
Utilisation du sol, type de couverture du sol	Comme on le voit sur la Figure 1, le taux d'infiltration varie en général de supérieur à inférieur dans l'ordre suivant (en supposant tous les autres paramètres constants) : couverture en forêt > pâturages > terres cultivées > sol nu > bâtiments > chaussée. Les surfaces imperméables, tels que parkings, routes et autres aménagements font office de « voie rapide » pour les précipitations – et se transforment en collecteurs d'eaux pluviales qui se déversent directement dans les cours d'eau. Une couverture végétale dense protège le sol de l'impact des pluies, réduit l'étalement du sol et augmente le taux d'infiltration. Tant le système racinaire que les matières organiques du sol augmentent sa porosité et donc sa capacité d'infiltration. Les zones de forêts ont normalement un taux d'infiltration supérieur. Les champs où l'on cultive pommes de terre et betterave à sucre sont les plus sensibles aux ruissellements de surface, en particulier les parties compactes (pistes). Les ruissellements de surface se produisent aussi parfois dans les champs de maïs. Le blé augmente les capacités d'infiltration en créant des fissures (voies d'écoulement préférentiel) autour des racines. Les pierres en surface augmentent l'infiltration et protègent le sol de l'érosion. Les pierres en surface retardent les ruissellements, augmentent les taux finaux d'infiltration et réduisent la concentration sédimentaire et les pertes de sol.
Emplacement du paysage	Les sols des hautes terres et des pentes ont logiquement des taux d'infiltration inférieurs à ceux des fonds de vallées. L'eau excédant la capacité d'infiltration dérive les ruissellements dans les terres hautes et sur les pentes. L'eau excédant la capacité des champs dérive les ruissellements dans les terres basses.
Caractéristiques des pentes (angle, longueur)	L'eau tombant sur des terrains en pente abrupte s'écoule plus rapidement et s'infiltré moins que l'eau tombant sur un terrain plat. Plus la longueur de la pente augmente, plus une goutte d'eau met longtemps pour atteindre la zone cultivée ; elle est donc exposée plus longtemps aux effets de l'infiltration et de l'évaporation.
Propriétés des fractures	Une fracture plus ouverte et la profondeur de l'eau de crues augmentent temporairement le taux d'infiltration.

## Taux de Recharge artificielle (d'infiltration)

Taux de recharge artificielle	Il existe un ensemble de mesures permettant de « collecter l'eau » et d'augmenter l'infiltration, des méthodes in situ – telles que terrasses, contours de niveau, puits de recharge ou tranchées d'infiltration – aux mesures prises au niveau du village ou du paysage – tranchées d'infiltration, épandage de l'eau, irrigation par épandage, puits d'injection et infiltration des dunes. Il existe une large variété de mesures, dont certaines sont présentées dans le Chapitre 3.
Pratiques agronomiques et pastorales	Les mesures agronomiques affectent fortement l'infiltration : le labourage ou le piétinage peuvent ouvrir la surface de sols compacts ; trous de plantation et bandes herbagées interceptent les ruissellements ; le paillage retient l'humidité.
Cyanobactéries	Des tapis de cyanobactéries, se développant à la surface des bassins de recharge des nappes souterraines, ont tendance à réduire le taux d'infiltration des effluents dans le sol. Cet organisme est capable de glisser rapidement, formant des structures de type radeau, produisant une gaine extracellulaire et sécrétant de grandes quantités de mucus ayant un pouvoir colmatant remarquable.

*(Ce tableau est basé sur les références – se reporter à la liste)*

Le deuxième processus majeur est la sédimentation. La discussion sur la conservation des sols a longtemps été dominée, à juste titre, par les préoccupations relatives à l'érosion, car l'érosion élimine les nutriments de manière massive et la formation de ravines et d'ornières tant dans le paysage général que dans les champs diminue l'humidité du sol. Une des principales manifestations est celle de l'extraction du sable et des graviers du lit des cours d'eau locaux par l'homme, en particulier à proximité des zones urbaines où ils servent de matériaux de construction. De telles actions peuvent supprimer la capacité des rivières à contenir les inondations et entraîner un épuisement des eaux souterraines dans les puits adjacents (Figure 2).

Le processus de sédimentation revêt un autre aspect. Les sédiments, loin de toujours constituer un risque, peuvent dans certains cas être un atout. Ils contribuent à la formation et à la restitution des sols – créant de nouvelles terres et bouchant les ravines et les dépressions. La technique dite du « colmatage » (Voir le Chapitre 3 sur le plateau de Löss en Chine) a été utilisée dans de nombreuses régions du monde pour capter les sédiments afin de les utiliser pour améliorer la fertilité des terres. Certains sédiments sont systématiquement vendus – par exemple, la terre destinée aux fondations d'habitations – ou transportés vers des terres arides. Ici, la gestion du paysage est essentielle, car certains sédiments sont plus utiles que d'autres. Dans les régions où l'on pratique l'irrigation de crue, les agriculteurs ferment parfois l'afflux d'eau envasée car le sédiment qu'elle contient est grossier et risquerait de détériorer la fertilité des terres, alors que les sédiments d'autres régions sont utilisés pour la création ou la restauration de terres agricoles.

La végétation est le troisième facteur important de la gestion des paysages. Un facteur qui peut faci-



*Figure 2: Seules les roches dures demeurent après un prélèvement de sable incontrôlé de la rivière à Kitui (Kenya). Celui-ci a détruit la capacité d'absorber et de retenir les eaux de crue.*

lement être influencé par le reboisement, le développement des terres agricoles ou la gestion des terrains de parcours. Certains présentent souvent l'hypothèse selon laquelle les forêts contribuent largement à l'augmentation de la recharge (Figure 1), en régulant les flux et en réduisant l'érosion. Cette hypothèse s'avère exacte dans de nombreux cas, mais les effets dépendent toutefois des zones concernées. Dans les zones arides et semi-arides, l'augmentation de la recharge peut être contrebalancée par une consommation d'eau accrue en raison de la présence des arbres, ce qui aboutit à un effet négatif (Hayward, 2005). Les facteurs en cause sont nombreux. La plantation d'arbres dans des régions tropicales dégradées améliore en principe la biodiversité des sols, et donc leur structure. Cela permet d'atténuer les ruissellements de surface, de réduire les pointes de crue et d'augmenter l'infiltration, en particulier sur les pentes abruptes. Ces résultats permettent à leur tour de réduire la formation de ravines et donc d'améliorer la capacité du sol à retenir l'eau et l'humidité. Le captage des eaux souterraines par les arbres et par leurs systèmes racinaires réduit le risque de glissements de terrain, notamment dans les zones vulnérables. La consommation d'eau par les arbres dépend elle aussi de plusieurs facteurs. Par exemple, les jeunes plantations d'eucalyptus consomment beaucoup d'eau, mais cette consommation diminue au fur et à mesure de la maturation des arbres. Lorsque les aquifères profonds sont disponibles, la percolation d'eau augmente et la différence entre les arbres et la végétation ayant un système racinaire peu profond diminue. L'échelle est un autre facteur important. À la différence des petites superficies, la création de forêts à grande échelle crée des « rétroactions climatiques » et entraîne de plus fortes précipitations. Cet effet dépend également de l'hétérogénéité de la couverture végétale (Chapell et Bonell, 2006).

Le dernier facteur à prendre en compte a trait à la gestion des microclimats. Dans le débat actuel sur le changement climatique mondial, on a souvent tendance à oublier l'importance des microclimats et les possibilités d'amélioration future. Pourtant, dans la plupart des zones géographiques de faible étendue, le microclimat joue un rôle tout aussi important que le climat général de la zone. Il existe

un lien étroit entre la gestion locale des terres et de l'eau et les microclimats. Les brise-vent affectent l'évaporation produite par le vent et aident à retenir l'humidité du sol, laquelle affecte à son tour la chimie des sols (Encadré 3). Le paillage réduit les pertes d'eau dues à l'évaporation et régule la température du sol. Dans certaines régions, l'utilisation de pierres accroît le captage de la rosée, complément de précipitations rares. Dans d'autres régions, le vent est canalisé afin de réguler la température et d'éviter un taux d'humidité trop important (Figure 3).

### Encadré 3: Assurer le bon fonctionnement chimique des sols

La quantité d'eau dans le sol est étroitement liée aux niveaux des eaux souterraines. L'humidité du sol influence à son tour les processus chimiques y ayant lieu, des processus essentiels pour la croissance des cultures. Notamment la fixation de l'azote, qui dépend de la quantité d'eau disponible dans le sol. La fixation de l'azote permettant la phytodisponibilité à partir de l'azote de l'air indisponible pour la plante se fait de diverses manières. L'un des moyens est la fixation au travers des bactéries du sol, comme les rhizobia. Ces bactéries forment une nodosité sur les racines des légumineuses. Lorsque l'humidité du sol est suffisante, la bactérie est alors capable de fixer de grandes quantités d'azote. L'humidité du sol a également une influence sur la croissance de la rhizobactérie. Un autre moyen d'assimilation de l'azote se fait par les bactéries vivant à l'intérieur du système vasculaire de la plante, que l'on appelle bactéries endophytes, telles les espèces *Azospirillum*. Ces endophytes transforment l'azote gazeux en amines et en nitrate d'ammonium que la plante peut ensuite utiliser. Les deux types de bactéries permettant la fixation de l'azote par les plantes utilisent l'énergie fournie par le carbone végétal. Grâce à ce mécanisme, la plante peut réguler la quantité d'azote à assimiler. Lorsque l'humidité disponible dans le sol est limitée, la plante fournit moins de carbone à la bactérie, et celle-ci en réponse fixe moins d'azote. Lorsque les conditions d'humidité du sol sont optimales, la plante fournit des quantités croissantes de carbone, ce qui augmente la quantité d'azote fixé. Ce système de rétroactions fonctionne mieux que l'apport de fertilisants en début de saison, époque où une fourniture insuffisante ou exagérée d'azote risque de conduire à une baisse de la production. Dans les zones tempérées, ce sont les algues bleu-vert qui fixent l'azote. Leur activité dépend également de l'humidité et des caractéristiques du sol. Dans les sols argileux et calcaires notamment, la fixation de l'azote par ces micro-organismes est intense.

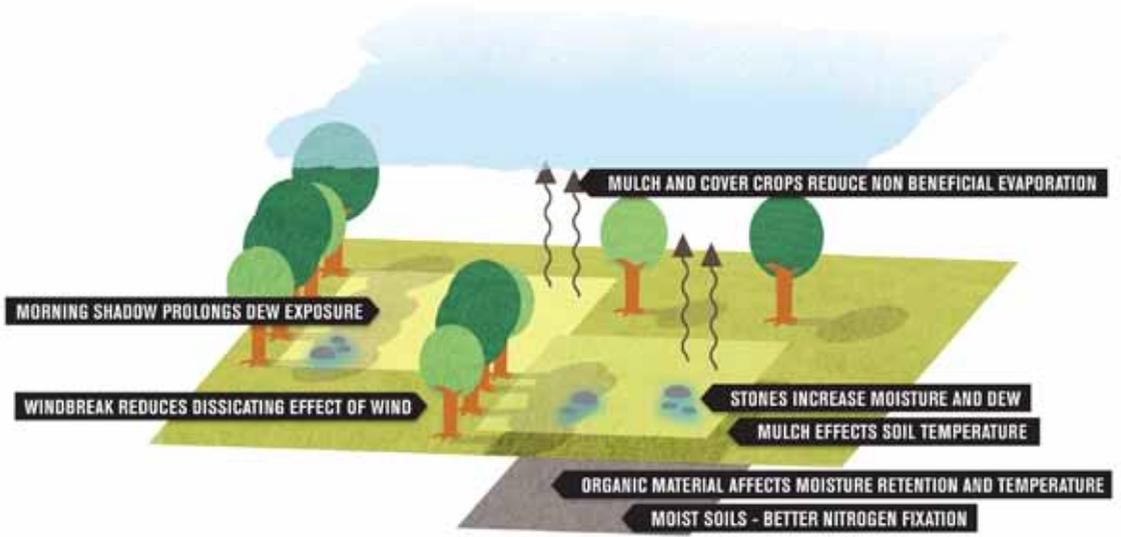


Figure 3: Facteurs inhérents à la gestion d'un microclimat

## Références

Chappell, N. and Bonell, M. 2005. Uncertainties in the hydrology of tropical reforestation: beyond 'from the mountain to the tap'. In: ETRFN News, 45-46, Winter 2005 – 2006.

Le Tableau 1 et la Figure 1 sont basés sur les références suivantes:

Bouwer, H. 1989. Effect of Water Depth in Groundwater Recharge Basins on Infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115 (4), pp. 556-567.

Fox, D.M., Bryan, R.B. and Price, A.G. 2004. The Role of Soil Surface Crusting in Desertification and Strategies to Reduce Crusting Environmental Monitoring and Assessment, 2004, 99 (1-3), pp. 149-159.

Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. AGU*, 14th Ann. Mtg., pp. 446-460.

Katznelson, R. 1989. Clogging of groundwater recharge basins by cyanobacterial mats. *FEMS Microbiology Letters*, 62 (4), pp. 231-242.

Kostiakov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society, Moscow*, pp. 17-21.

Lachnicht, S. L., Parmelee, R. W., McCartney, D. and Allen, M. 1997. Characteristics of macroporosity in a reduced tillage agroecosystem with manipulated earthworm populations: Implications for infiltration and nutrient transport. *Soil Biology and Biochemistry*, 29 (3-4), pp. 493-498.

Lipiec, J., Kus J., Słowinska-Jurkiewicz, A. and Nosalewicz, A. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research*, 89 (2), pp. 210-220.

Liu, C.-W., Cheng, S.-W., Yu, W.-S. and Chen, S.-K. 2003. Water infiltration rate in cracked paddy soil. *Geoderma*, 117 (1-2), pp. 169-181.

Sauer, T.J., Logsdon, S.D., Van Brahana, J. and Murdoch, J.F. 2005. Variation in infiltration with landscape position: Implications for forest productivity and surface water quality. *Forest Ecology and Management*, 220 (1-3), pp. 118-127.

Smith, W.O. 1967. Infiltration in sands and its relation to groundwater recharge. *Water Resources Research*, 3 (2), pp. 539-555 Washington, D.C.: U.S. Geological Survey.

Wang, X.-P., Wang, Z.-N., Berndtsson, R. Zhang, Y.-F. and Pan, Y.-X. 2011. Stemflow of desert shrub and its significance in soil moisture replenishment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, pp. 5213-5234.

Wierda, A.W.L. and Veen, A. 1992. A rainfall simulator study of infiltration into arable soils. *Agricultural Water Management*, 21 (1-2), pp. 119-135.

### 3. Études de cas

Cet ouvrage est la suite du livre « La gestion des zones tampons pour le développement et l'adaptation au changement climatique ». (Van Steenbergen et Tuinhof, 2009) Comme la publication précédente, celle-ci présente un ensemble d'études de cas portant sur la gestion durable des réserves en eau concernant des régions plus ou moins arides ou humides. Ces cas présentent des exemples de pastoralisme, d'agroforesterie et de systèmes agricoles divers. L'infographie illustre les techniques présentées tant dans le présent ouvrage que dans le précédent (Figures 4 et 5).

Tableau 2: Cas classés par techniques et en fonction de leurs principaux effets

#	Études de cas	Recharge	Retenue	Réutilisation	Contrôle de l'érosion	Récolte	Micro-climat
1	Reverdissement - amélioration de la conservation des sols et de l'humidité, Burkina Faso et Niger	✓				✓	✓
2	Conservation des sols et de l'eau à l'échelle, Tigray, Éthiopie	✓		✓	✓	✓	✓
3	Rétention de l'eau au moyen de « joues de singes », Thaïlande		✓	✓			
4	Collecte des sédiments au moyen de barrages de colmatage, Plateau de Loess, Chine		✓		✓	✓	
5	Épandage des eaux de crue, Iran	✓				✓	
6	Utilisation des paysages naturels, Turkménistan	✓	✓	✓			
7	Fanya juu, système de cultures en terrasses, Tanzanie et Kenya	✓	✓		✓		
8	Maximiser la recharge, barrages de retenue en cascade, Yémen	✓	✓	✓			
9	Barrages de rétention des eaux souterraines, Maharastra, Inde	✓	✓	✓			
10	Pâturage intensif contrôlé, prairies en zone de savane, Afrique	✓	✓				
11	Puits tubulaires peu profonds dans les plaines inondables, Afrique			✓			
12	Pailles de plastique, solutions alternatives biodégradables, Chine et États-Unis		✓				✓

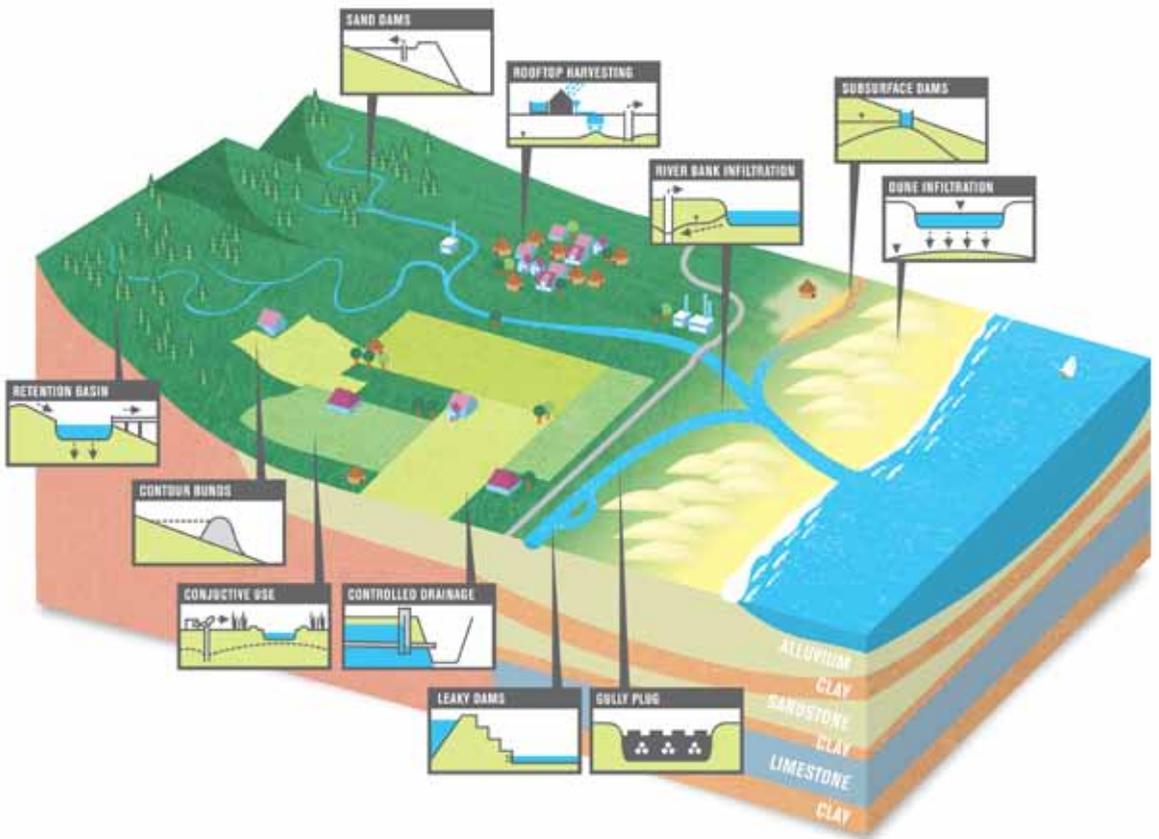


Figure 3: Facteurs inhérents à la gestion d'un microclimat

La variété des cas suggère que les possibilités d'amélioration de la gestion des terres et des zones tampons existent dans de nombreuses régions. Des innovations mises en œuvre dans une zone ne sont pas encore utilisées partout – qu'il s'agisse de l'utilisation de « bio-ingénieurs » (Iran), de barrages de rétention (Inde), de paillage généralisé (Chine) ou de l'usage de bassins de stockage le long des systèmes d'irrigation (Thaïlande). Les différents cas peuvent être classés en fonction des techniques 3 R utilisées et de leur effet sur le contrôle de l'érosion, les récoltes et la gestion du microclimat (Tableau 2).

Plusieurs cas portent sur des transformations du paysage à grande échelle intervenues dans un passé très récent. Ils prouvent que la dégradation de l'environnement n'est pas inévitable, et que la tendance peut être inversée si les conditions sont favorables, si l'on prend les initiatives qui s'imposent et que le leadership du projet est assuré. Ces cas décrivent les processus de planification et de mise en œuvre, les techniques utilisées et les coûts et bénéfices qui en découlent, dans l'espoir de pouvoir mieux les maîtriser. Les codes QR ont été ajoutés sur certains de ces cas, ce qui permettra au lecteur de les scanner et d'accéder aux vidéos les concernant.

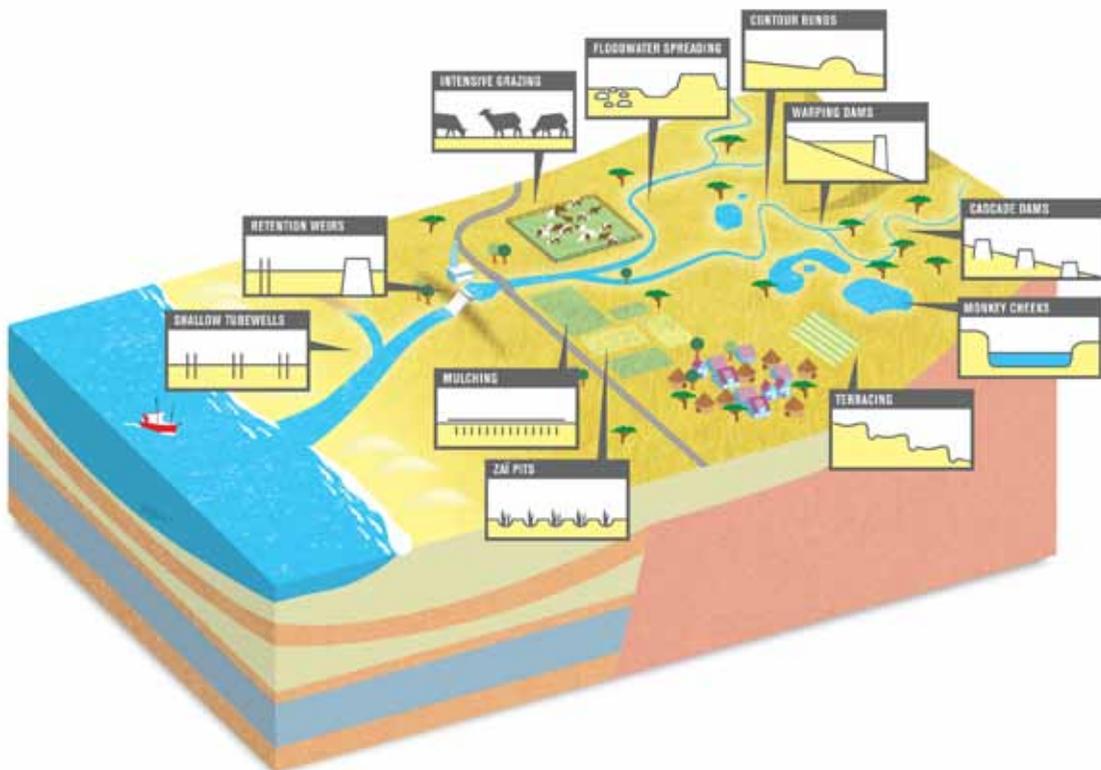


Figure 4: La gestion des zones tampons dans le paysage (le présent ouvrage)

## Référence

Van Steenberghe, F. and Tuinhof, A. 2009. Managing the water buffer for development and climate change adaptation. Wageningen, The Netherlands: 3R Water Secretariat.

# 3.1. Reverdir pour améliorer la conservation des sols et leur humidité



## Niger et Burkina Faso

### Introduction

Durant de nombreuses années, le Sahel est demeuré synonyme de dégradation des ressources et de misère. Les sécheresses dévastatrices des années 1969-73 entraînèrent de nombreuses pertes humaines et la destruction des moyens de subsistance: disparition des arbres et du bétail, baisse fatale des niveaux d'eau, déclin des cultures vivrières (sorgho et millet), et extension des dunes de sable à la limite du désert. Des pays comme le Niger et le Burkina Faso, dans lesquels la pression démographique est forte, furent particulièrement touchés.

Néanmoins, depuis les années 1980, le Sahel a également connu de grandes transformations. Les agriculteurs sahéliens ont réussi eux-mêmes à transformer des terres qui comptaient parmi les plus arides du monde en terres agricoles productives, aidés en cela par une période de relatives précipitations. Au Burkina Faso et au Niger, les agriculteurs utilisaient des systèmes traditionnels d'agroforesterie, de collecte de l'eau et de gestion des sols. Ceux-ci furent modifiés pour s'adapter à l'évolution des circonstances et à leur mise en œuvre à grande échelle. Au Burkina Faso, on estime qu'environ 200 000 à 300 000 hectares ont été restaurés par les agriculteurs qui ont développé des trous de plantation (Zaïs) et des diguettes en pierre. Ils ont ainsi produit 80 000 tonnes supplémentaires d'aliments par an permettant de nourrir 500 000 personnes. Au Niger, 5 millions d'hectares ont été réhabilités au moyen de systèmes agroforestiers améliorés utilisant les systèmes racinaires inactifs. Des estimations indiquent que cela a permis d'accroître de 20 % le revenu de 4 millions de personnes.

L'ampleur des changements effectués et le processus d'innovation et d'adaptation constaté réfutent la présomption selon laquelle les perspectives des zones arides et enclavées sont faibles et qu'il est vain d'y investir. À cet égard, les expériences faites au Niger et au Burkina Faso ont été à l'origine du projet « Africa Regreening Initiatives » (Initiatives pour le reverdissement de l'Afrique) lancé sur l'ensemble du continent. Se fondant sur ces transformations initiés et menées par les agriculteurs, l'ancien président du Nigéria, Olusegun Obasanjo proposa l'idée d'une « Grande muraille verte pour le Sahara » et la soumit à la Communauté des États sahélo-sahariens et à l'Union Africaine. Le plan d'action adopté par l'Union Africaine et l'Union européenne inclut une coopération prioritaire pour résoudre le problème de la dégradation des terres et de l'augmentation de l'aridité des sols, l'Initiative de la Grande Muraille Verte pour le Sahara faisant partie du projet visant à reverdir le Sahel.

### Techniques

Les techniques utilisées pour reverdir le Sahel n'étaient pas nouvelles, mais elles furent améliorées



Figure 1: Les Zaïs, Burkina Faso

et modifiées pour être adaptées aux défis actuels. Les expérimentations et la diffusion des informations furent principalement prises en charge par les agriculteurs. L'un d'entre eux, un fermier burkinabé, Yacouba Sawadogo, s'imposa comme l'une des icônes de la démarche. Il prit l'initiative d'organiser des visites d'exploitations et des jours de « marché » biannuels destinés à promou-

voir les trous de plantation. Yacouba gère également un projet d'échange de semences. Les agriculteurs ont apporté des échantillons des variétés de cultures qu'ils cultivaient dans leur Zaï et déposé les semences chez Yacouba. Ensuite, suivant ses conseils, ils ont sélectionné les semences qu'ils souhaitaient planter sur leurs parcelles lors de la saison suivante. Comme le dit un expert en sciences du sol, « Yacouba a eu plus d'influence que tous les chercheurs en sciences du sol et de l'eau réunis ». Un autre exemple est celui d'un agriculteur qui a ouvert une école Zaï, dans laquelle il apprend à d'autres agriculteurs comment construire des Zaïs sur une zone de gravier à côté de la route. Cette action aboutit à la création de 20 écoles représentant 1000 membres – chaque groupe étant chargé d'améliorer une certaine superficie de terre dégradée. La démarche fut également soutenue par des gouvernements et des ONG. Afin de développer des composts adaptés, des sites de formation à la technique des Zaïs furent établis, comprenant par exemple un hectare de terre cultivée pour sensibiliser les stagiaires. En fonction de la dimension du programme de soutien, les stagiaires avaient le cas échéant la possibilité de remporter du compost chez eux et de l'utiliser pour construire des Zaïs sur leurs propres parcelles pilotes. Les groupes de femmes, en particulier au Burkina Faso, devinrent un signe explicite de la large acceptation du développement de méthodes de culture basées sur les Zaïs.

Les projets à grande échelle conçus précédemment à la suite de grandes sécheresses avaient échoué, car ils n'avaient pas réussi à impliquer les utilisateurs des terres.

## Zaï

La technique des Zaïs (cuvettes de plantation) consiste à creuser des mini-bassins qui recueillent l'eau de pluie nécessaire pour assurer la croissance des plantes et concentrer les nutriments des cultures. Ces trous sont creusés en quadrillage. Ils ont environ 20 cm de diamètre et 10-15 cm de profondeur et sont au nombre de 10 000 à 15 000 unités à l'hectare. Leur dimension et leur densité varient d'une zone à l'autre – en fonction de la culture concernée, des conditions du sol (par

exemple, ils ne fonctionnent pas bien dans des sols hygroscopiques) et de la nécessité de la collecte. Des trous plus larges et plus espacés permettent de collecter une plus grande quantité d'eau.

Les expérimentations faites par les agriculteurs du Burkina Faso permirent de développer des solutions innovantes en augmentant la profondeur et le diamètre des trous et d'y ajouter du fumier. Une fois creusés, les trous captent d'autres matériaux, par exemple, des particules de terre et des feuilles transportées par le vent. Les termites sont attirés vers les matériaux organiques se trouvant dans les trous. Ils forment une armée d'« ingénieurs des sols », creusent de petits tunnels qui améliorent la structure du sol et permettent de doubler le taux d'infiltration de l'eau, transforment les matériaux organiques et apportent les nutriments nécessaires aux racines des plantes semées. En période sèche, les trous contenant ces matériaux organiques retiennent l'eau et permettent la survie des cultures. Le sorgho est la culture privilégiée, car elle est capable de s'adapter à une éventuelle inondation temporaire des cuvettes. Les Zaïs sont en général combinés avec des diguettes en pierre à leur pourtour. Celles-ci présentent l'avantage de réduire la vitesse de ruissellement et d'améliorer la retenue de l'eau et du sol.

## Cordons pierreux

La tradition des cordons pierreux existait déjà au Burkina Faso, mais le défi consistait à suivre les courbes de niveau, en particulier lorsque le relief est plat. Suite à l'expression d'une volonté d'avoir de l'eau peu onéreuse pour mesurer les niveaux du terrain, il devint beaucoup plus aisé de déterminer l'alignement correct des cordons pierreux. En deux jours, les agriculteurs apprirent à se servir du niveau. Les cordons pierreux, mieux alignés, permirent un étalement plus efficace et égal



Figure 2: Cordons pierreux et sorgho, Burkina Faso

des ruissellements sur le champ et un écoulement goutte à goutte de l'eau au travers des petites ouvertures existant entre les pierres. Cette pratique améliora la condition des sols en piégeant les sédiments et la matière organique dans les parcelles tout en évitant qu'ils soient emportés par la pluie.

## Modification de l'agroforesterie traditionnelle

Au même moment, les agriculteurs du Niger développèrent des moyens innovants visant à régénérer et à multiplier des arbres précieux dont les racines souterraines n'avaient jusqu'alors pas été utilisées. En se fondant sur l'expérience qu'ils avaient acquise en matière de gestion des forêts de leur région, des agriculteurs commencèrent à expérimenter une pratique qui fut ensuite connue sous le nom de Régénération Naturelle Assistée (RNA). Parmi les systèmes racinaires matures, les paysans choisissent les souches en se basant sur l'utilité de chaque espèce. Les souches les plus hautes et les plus droites sont sélectionnées, soignées et protégées. En même temps, d'autres souches sont retirées. Pour assurer leur croissance et leur production, les souches sélectionnées sont émondées tandis que l'on continue de retirer d'autres souches. Cette opération permet de faire pousser d'autres cultures entre les arbres et autour d'eux, créant un système agroforestier ingénieusement renouvelé. Cette implantation d'arbres a eu plusieurs conséquences positives: (1) Elle a amélioré le microclimat local en réduisant la vitesse du vent et l'évaporation, tout en réduisant l'impact des cycles de sécheresse et de chaleur; (2) Elle a fourni du fourrage pour le bétail; (3) Les arbres ont procuré des fruits, du bois de chauffage et des produits médicinaux. Certaines espèces ont également apporté de l'azote dans le sol.

## Coûts et bénéfices

Les bénéfices en termes de sécurité alimentaire et de productivité des exploitations ont été substantiels. Ils expliquent la vitesse avec laquelle les innovations se sont propagées d'une exploitation à l'autre. La plupart des améliorations ont été réalisées hors saison grâce au travail des paysans. Bien que ces apports en main d'œuvre soient importants, leur coût d'opportunité est nul. Cet élément constitua en lui-même une innovation, car traditionnellement, on ne travaillait pas sur les parcelles zaïs pendant la saison sèche.

## Les zaïs et les contours de niveau

L'établissement de zaïs au début de la saison sèche comporte deux activités principales: creusement des cuvettes et couverture du fond de chaque trou d'une couche argileuse de 3 cm. Les zaïs (cuvettes de plantation<sup>1</sup>) sont de dimensions et de densité (nombre/ha) variables. En conséquence, la quantité de travail et les coûts varient également. Lorsque les zaïs sont combinées avec des cordons pierreux, il faut aussi construire ceux-ci. Ci-dessous, une indication des coûts type pour l'établissement et l'entretien des cuvettes et des contours de niveau.

---

1 Known as *tassa* in Niger

En l'absence de telles mesures, la productivité est très faible: 80 kg/ha pour le sorgho. Les zaïs et les cordons pierreux peuvent faire passer la production à 300, voire 400 kg/ha les années où les précipitations sont faibles, à 1 500 kg/ha dans une bonne année. Les expériences faites montrent que ce sont essentiellement les nutriments qui font la différence.

Ces nouvelles techniques d'aménagement de zaïs comportent d'autres avantages, notamment le développement d'un marché de la fumure. Désormais, les éleveurs collectent systématiquement le fumier après la moisson pour le vendre. L'augmentation de la demande a en effet conduit à un doublement du prix.

Tableau 1: Intrants et coûts d'établissement par ha

Zaï et contours de niveau: intrants et coûts d'établissement par ha	
Intrants	Coût (USD)
Main d'œuvre	27-175
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-150 personnes/jour pour les trous</li> <li>• 25 personnes/jour pour les contours pierreux</li> </ul>	
Équipement et outils	50
<ul style="list-style-type: none"> <li>• houe, couteau, bâton fousseur, camion</li> </ul>	
Matériaux	0
<ul style="list-style-type: none"> <li>• argile(0.5 m³)</li> </ul>	
<b>Total</b>	<b>77-175</b>

Tableau 2: Intrants récurrents pour les zaïs et les contours de niveau

Zaï and contour bunds: recurrent inputs and costs per ha per year	
Input	Cost (USD)
Main d'œuvre	21
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 personnes/jour pour la fumure</li> <li>• 1 personne/jour pour les contours pierreux</li> </ul>	
Équipement et outils	6
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Location d'une brouette</li> </ul>	
Matériaux	0
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centre et paille humide</li> </ul>	
Agriculture	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fumure (100kg)</li> </ul>	
Transport du compost	2
<b>Total</b>	<b>30</b>

## Agroforesterie

Les coûts de la mise en œuvre d'un système agroforestier innovant portent essentiellement sur le travail individuel et concernent le temps passé à sélectionner, tailler et couper les arbres. Les avantages sont considérables. Au Niger, au cours des vingt dernières années, plus de 250 000 hectares ont été replantés chaque année, ce qui représente un total de près de 5 millions d'hectares. Si l'on se base sur une moyenne de 40 arbres à l'hectare, cela représente un total de 200 millions de nouveaux arbres. Les arbres présentent un certain nombre d'avantages. Ils réduisent la vitesse du vent et l'évaporation, produisent au moins six mois de fourrage pour le bétail, du bois de chauffage, des fruits et des produits médicinaux que les ménages agricoles peuvent consommer ou vendre. Certaines espèces d'arbres (*Faidherbia Albida* par exemple) améliorent aussi la fertilité en fixant l'azote dans le sol. Si chaque arbre produit une valeur annuelle moyenne de 1,2 dollar US (bois de chauffage, fourrage, fruits, produits médicinaux, fertilité du sol améliorée, augmentation du rendement des cultures, etc.), cela correspond à une production annuelle en valeur de 240 millions de dollars US. Cependant, ce chiffre n'inclut pas la valeur du bois ou le carbone séquestré par les arbres sur pied. Si quatre millions d'individus sont concernés par ce reverdissement, cela signifie une augmentation de 60 dollars US du revenu annuel moyen par tête, alors que ce chiffre actuel au Niger est de l'ordre de 280 dollars US.

## Références

1080 films UK (2011). The man who stopped the desert. [Online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/993-the-man-who-stopped-the-desert-trailer> [accessed on 24 August 2011].

Biochar. (2011) Biochar Discussion List [online] Available at: <http://biochar.bioenergylists.org> [Accessed 14 May 2011]

Critchley, W. (2010). More People, More Trees – Environmental Recovery in Africa. Practical Action Publishing.

EC and AUC. (2009). Scope and Pre-feasibility Study on the Great Green Wall for the Saharan and Sahel Initiative (GGWSSI). Project Number: 5008206.

Reij, C., G. Tappan, and M. Smale. 2009. Agroenvironmental transformation in the Sahel: Another kind of "Green Revolution." IFPRI Discussion Paper. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

WOCAT. (2007). Where the land is greener – case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. Editors: Hanspeter Liniger and William Critchley.

## 3.2. Conservation des sols et de l'eau à l'échelle



### Tigray, Éthiopie

#### Introduction

La dégradation des terres a longtemps constitué un des facteurs principaux de l'insécurité alimentaire dans une grande partie de l'Éthiopie, et en particulier sur les hauts plateaux qui ont une population dense et une agriculture intensive. La région du Tigray, dans le nord du pays, était caractérisée par une forte insécurité alimentaire et les scènes de la famine de 1984 dans certaines zones sont restées dans toutes les mémoires.

Le Tigray compte 4,4 millions d'habitants et a une superficie de 5,3 millions d'hectares. Vingt pour cent des terres sont cultivées, aujourd'hui presque exclusivement par des petits agriculteurs. Compte tenu d'une topographie variée, la moyenne des précipitations est également variable : dans la région des hauts plateaux (entre 1500 et 2300 m), elle est proche de 900 mm ; dans les plaines, elle varie entre 500 mm (à l'est) et 1200 mm (à l'ouest). De plus, les fluctuations sont importantes : les précipitations sont erratiques et imprévisibles. L'érosion du sol a fortement touché la région. Dans plusieurs endroits, une partie du sous-sol des terres en pente a été emporté.

Au cours des dernières années, une remarquable transformation du paysage a été opérée dans la région de Tigray. Les actions de conservation des sols et de l'eau ont permis, en une courte période, de traiter plus de 50 % des terres agricoles, confortant les progrès constants réalisés au cours de



Figure 1: Conseil de la conservation des sols et des eaux sur la planification locale. (Crédit photo: Bureau de l'agriculture et du développement rural de Tigray, 2011).

### Encadré 1: Transformation du paysage dans l'Abreha Weatsbeha

Abreha Weatsbeha, situé près de Wukro, fait partie du bassin versant de Sulo. Des mesures de conservation des sols et des eaux y ont été appliquées de manière intensive au cours des cinq dernières années. Comme ailleurs dans la région du Tigray, le travail a été effectué à la fois par des volontaires et par une main d'œuvre fournie par le Programme « Filet de sécurité productif ». À Abreha Weatsbeha, ce travail a comporté les éléments suivants:

- Demi-lunes pour y planter des arbres
- Diguettes avec excavation de tranchées – afin de maximiser la collecte et l'infiltration des ruissellements.
- Développement de mottes pour bloquer les ravines, canaux de surverse et bassins d'infiltration des eaux de pluie à proximité des petits escarpements entourant le village.
- Zones interdites pour permettre la régénération des arbres et des graminées.

Une caractéristique intéressante a porté sur le développement de nouvelles terres agricoles dans des zones précédemment utilisées pour le pâturage. Ces actions concernent les pistes sablonneuses proches du piémont, à présent interdites aux animaux. La mesure favorise la pousse d'herbes sauvages. Ces herbes sont régulièrement labourées en vue d'accroître la matière organique et d'améliorer la fertilité du sol sablonneux. Autre point essentiel, le fait que les activités de conservation des sols et de l'eau ont permis la réapparition des arbres indigènes. Il existe déjà un système long et bien établi consistant à ne pas abattre les arbres vivants, mais les activités de conservation des sols et de l'eau ont permis l'apparition de nouveaux arbres. Le récent programme a entraîné la hausse spectaculaire du niveau des nappes souterraines. Ce phénomène a encouragé la création de puits peu profonds. Au cours des trois dernières années, au moins 200 puits de surface ont été établis dans l'Abreha Weatsbeha. Ils sont souvent très proches l'un de l'autre. L'excavation de l'un de ces puits au large diamètre coûte 300 dollars US, et est assorti de mesures d'encouragement (sous forme



Figure 2: Utilisation d'une pompe à pédale pour accéder aux nappes peu profondes. Source: Bureau de l'agriculture et de développement rural de Tigray (Crédit photo: Bureau de l'agriculture et de développement rural de Tigray, 2011).

d'aide alimentaire) fournies par les autorités locales. L'eau est pompée vers les terres agricoles adjacentes au moyen de pompes à pédale ou de pompes tractées à la corde et dans certains cas, par des pompes diesel monobloc. Néanmoins, les puits de surface occupent beaucoup de place et ont tendance à s'effondrer dans les terrains sableux. Leur remplacement par des puits tubés peu onéreux et percés manuellement améliorerait la sécurité de l'accès aux eaux souterraines.

la décennie précédente. Ces actions ont permis d'atteindre une augmentation de 50 à 100 % de la production des cultures et de consolider une large série de procédés innovants. Ce programme de conservation des sols et de l'eau est en grande partie une question d'échelle qui permet de passer à l'échelle supérieure, une question de succès engendrant d'autres succès.



Figure 3: Lignes directrices pour un « Développement participatif des bassins versants basé sur les communautés » et devant servir de référence à la planification locale.

## Conservation des sols et de l'eau dans la région du Tigray

Les programmes de conservation des sols et de l'eau existent depuis longtemps au Tigray, mais ils ont souvent été interrompus et n'ont pas été réalisés à la bonne échelle. Diverses techniques ont été introduites au fil des années : afforestation, aménagement de terrasses et cordons pierreux. Ces programmes ont souvent été associés à des programmes Vivres contre travail (FFW). À partir de 1974, le Programme Alimentaire Mondial des Nations Unies (PAM) a apporté son soutien à l'aménagement de terrasses et au reboisement, entrepris par le Département de mise en œuvre du projet (EPID, Extension and Project Implementation Department). La question de la conservation des sols et de l'eau envisagée sur le long terme demeura souvent limitée. Notamment sous le régime socialiste dirigé par le Derg, les programmes furent surtout imposés d'en haut. Le Front de libération du peuple du Tigray (FLPT) et son antenne d'information, la Société d'aide du Tigray (REST), ont cependant reconnu l'importance de la conservation des sols et en ont fait la pierre angulaire de leur programme pour la région, en particulier après leur arrivée au pouvoir.

Entre 1988 et 2002, une superficie de 602 000 hectares de terres a été réhabilitée, soit plus de la moitié ce qui avait été réalisé auparavant dans l'ensemble du pays. L'objectif principal visait à réduire l'érosion en aménageant le captage et la retenue des sédiments. En dépit des efforts déployés, les résultats furent souvent peu satisfaisants en raison du manque d'engagement de la communauté, un sens des responsabilités limité en ce qui concernait la création de ces richesses et d'unités de programmation ingérables.

À partir de 2007, le programme fut remis en vigueur et profondément réorienté. On assista, surtout à partir de l'année 2009, à une nouvelle orientation en faveur de la conservation des sols et de l'eau au Tigray. Cette nouvelle dynamique reposait sur plusieurs éléments :

- La conservation des sols et de l'eau devait concerner les terres cultivées et non cultivées. La conservation des terres cultivées devait être prise en charge en priorité par les agriculteurs cultivant les parcelles concernées, et celle des bassins versants devait être assurée grâce à la mobilisation de la population.
- L'accent était mis, non seulement sur le contrôle de l'érosion, mais également sur la collecte de l'eau et la rétention de l'humidité. Cette pratique impliquait l'introduction de plusieurs techniques nouvelles. Par exemple, dans les zones à faibles précipitations, on compléta les cordons pierreux par des fossés d'infiltration.
- La fermeture de certaines zones fut appliquée de manière systématique. Les zones de conservation des sols et de l'eau furent interdites aux troupeaux pendant une période minimale de cinq ans afin de permettre la repousse des herbes et autres végétaux.
- D'autres éléments nouveaux furent introduits : traitement des ravines, apport de nouvelles espèces de graminées et d'arbres fruitiers sur les terres traitées.

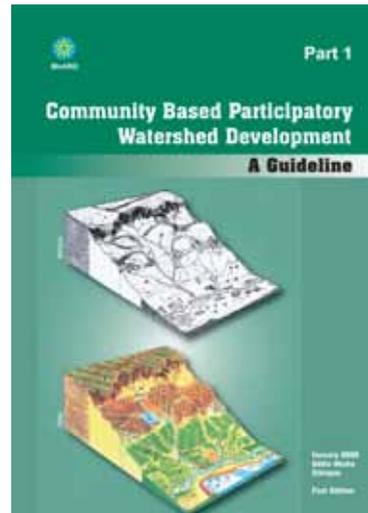


Figure 3: Lignes directrices pour un « Développement participatif des bassins versants basé sur les communautés » et devant servir de référence à la planification locale.

Les travaux furent réalisés grâce à une main d'œuvre disponible hors saison et grâce à la contribution des programmes qualifiés de « Filet de sécurité productif ». Dans le cadre du premier accord, tout membre valide d'une communauté dut s'engager à travailler gratuitement 40 jours par an (en 2009 et 2010). En 2011, cette exigence fut réduite à 20 jours (comme avant 2009), car une grande partie du programme de développement des bassins avait été réalisée au cours des deux années précédentes. Contrairement aux initiatives précédentes, le programme – établi sur la base d'une planification locale – fut très populaire et permit d'obtenir des résultats significatifs. Des règles spécifiaient les tâches à accomplir au cours d'une journée de travail (par exemple, aménager 5 m de cordons pierreux). L'exigence était réduite de moitié pour les femmes. Les travaux furent effectués hors saison (en janvier et février). Pour compléter le travail des volontaires, des ressources venant du Programme intitulé « Filet de sécurité productif » furent intégrées dans le Programme de conservation des sols et de l'eau. Dans le cadre de ce programme, les populations souffrant d'une insécurité alimentaire chronique furent autorisées à travailler contre un paiement en argent ou en nature.

C'est ainsi que, de 2009 à 2011, un total de 568 000 hectares fut traité dans le cadre du programme. Par ailleurs, les agriculteurs ont fait d'importants investissements destinés à améliorer leurs terres (nivellement, aménagement de terrasses, amélioration des sols) et sur certains sites, aménagement de puits. Dans ce programme, la clé du succès a résidé dans le fait que sa planification et sa réalisation ont été impulsées localement. C'est bien en effet ce facteur qui manquait dans les expériences précédentes. Sous l'égide du Bureau régional de l'agriculture et du développement rural (BoARD), un plan fut élaboré et le développement des capacités se déroula comme suit:

- Le Bureau de l'agriculture et du développement rural du Tigray apporta son soutien aux districts (woredas) en matière de formation et de planification.
- Les woredas ont formé et aidé les groupes de villages (tabias).
- Les tabias ont (en coordination avec les représentants des woredas) offert des formations aux

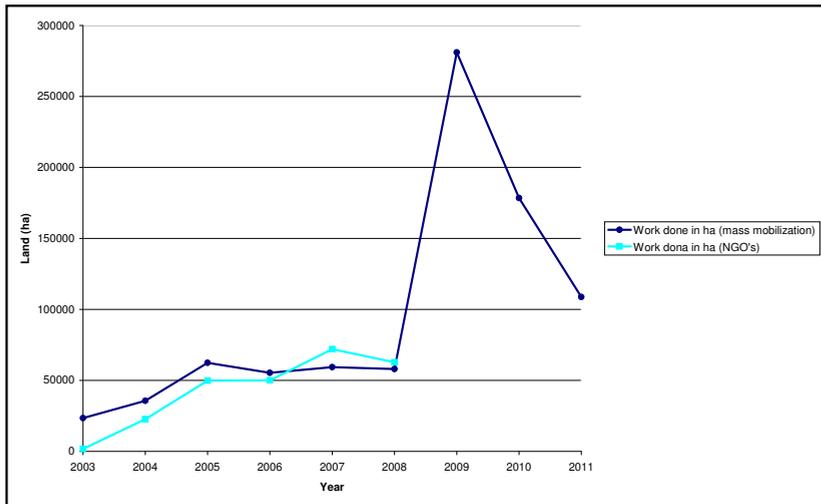


Figure 4: Accélérer l'amélioration du paysage dans le Tigray, 2003-2011 (Source: Bureau de l'agriculture et du développement rural de Tigray, 2011)

agriculteurs des sous-bassins. C'est à ce niveau qu'ont été effectuées les principales activités.

- Les diverses organisations – organisations d'agriculteurs, associations de femmes et associations de jeunes – furent toutes impliquées dans la planification et la mise en œuvre des activités de conservation des sols et de l'eau.

Le fait que la mise en œuvre ait largement été gérée au niveau local a entraîné un renversement de tendance par rapport à la période précédente où la participation des populations à la conservation était principalement liée à leur désir de recevoir une alimentation assurant leur survie. Dans le passé, la conscience de l'effet possible des actions de conservation était faible. La mise en œuvre d'actions à l'échelle a également entraîné un changement environnemental, dont témoignent la réapparition de sources, la régulation des débits locaux et la croissance d'arbres indigènes. Cette approche a créé un processus de « succès engendrant le succès », car elle a encouragé l'expérimentation de nouvelles cultures (arbres fruitiers) et de nouvelles méthodes de gestion des terres (contrôle des souris). Le programme de mobilisation collective a été complété par l'investissement des individus qui ont contribué à améliorer les terres et aménager des puits.

En complément des actions de conservation des sols et de l'eau, diverses structures de collecte et de recharge de l'eau ont été construites. Comme le montre le Tableau 1, les structures construites jusqu'à présent comprennent notamment les aménagements suivants : fosses de percolation, micro-bassins, barrages en enrochement, barrages de retenue, etc.

Tableau 1: Structures de recharge et de conservation de l'eau mises en place dans les bassins versants du Tigray jusqu'en 2008 (Source: Bureau de l'agriculture et du développement rural de Tigray, 2011).

Type de structure	Unité	Quantité
Fosses et bassin de percolation	Number	9052
Micro bassin	Number	4031663
Large structures semi-circulaires	Number	31627
Bassin en forme de croissant	Number	532974
Système en chevrons	Number	190043
Barrage de stockage de sédiments	m <sup>3</sup>	6675
Barrage en enrochement	m <sup>3</sup>	162469,5
Barrage de retenue en gabions	m <sup>3</sup>	573775,1
Barrage de retenue en pierres	m <sup>3</sup>	1232015
Drain de protection	km	26158,87

## Coûts et bénéfices

Des données existent sur les activités de conservation des sols et de l'eau menées dans le Tigray jusqu'en 2011. Toutefois, celles-ci sont incomplètes. Le programme a été mis en œuvre dans le cadre d'une démarche très décentralisée et, bien que ses réalisations soient visibles, on ne dispose pas de statistiques nationales précises. Le tableau 1 donne un aperçu du type d'actions réalisées jusqu'en 2008. Par la suite, les travaux se sont accélérés et l'accent a été mis sur la recharge et l'infiltration.

Ci-dessous (Tableau 2), la norme officielle du travail à accomplir chaque jour pour un homme adulte dans le cadre du Programme « Filet de sécurité productif ». La rémunération pour un jour de travail est de 10 ETB (Birr éthiopien), soit 0,50 dollar US, ou de 3 kg de grains (inférieure au salaire journalier normal des agriculteurs).

Tableau 3: Activités par jour dans le cadre du Programme « Filet de sécurité productif » (Source: Bureau de l'agriculture et du développement rural de Tigray, 2011).

Type d'activité de conservation des sols et de l'eau
Aménagement de terrasses dans le sol (5 m de long)
Aménagement de terrasses dans la roche (3 m de long)
Cordons pierreux (4 m de long)
Tranchées profondes (1 m)
Bassin en forme de croissant (2 l)
Micro-bassin (4 micro-bassins)
Demi-lune (4 demi-lunes)



Figure 3: Conservation des sols et de l'eau, Tigray (Source: Bureau de l'agriculture et du développement rural de Tigray, 2011).

S'il reste à quantifier les bénéfices de ce programme très récent, l'on dispose déjà des principales observations formulées par les agriculteurs, à savoir :

- Amélioration de l'infiltration de l'eau et augmentation de l'humidité de leurs terres cultivées.
- Augmentation du rendement des cultures (entre 50 et 100 %) due à l'amélioration de l'humidité du sol, notamment dans les zones où les précipitations sont faibles.
- Sécurité accrue des débits de base des cours d'eau locaux et sédimentation réduite.
- Réduction des inondations des terres cultivées.
- Émergence de nouvelles sources dans la partie inférieure des bassins versants et hausse du niveau des nappes souterraines.
- Modification du microclimat dans la zone entourant les bassins traités et autour des sites interdits.

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de la mise en œuvre du programme de Tigray. En premier lieu, comme il a été mentionné plus haut, l'échelle et la rapidité de l'exécution jouent un rôle majeur – en supposant bien entendu que les bonnes mesures soient prises. En deuxième lieu, il convient de souligner la signification majeure d'une planification et d'une mise en œuvre intervenant à l'échelon local, et l'importance de considérer la gestion des zones tampons comme un concept allant au-delà du simple contrôle de l'érosion des sols. Le troisième point, lié au précédent, concerne la valeur d'un processus d'exécution décentralisé et partiellement non organisé – pas de conception formelle du projet ; la plupart des activités ont été enregistrées uniquement à l'échelon administratif inférieur. Pourtant, le système a fonctionné. Soulignons enfin le rôle de la tradition : nombre de nouvelles pratiques ont été créées, puis améliorées et mises en œuvre. On a parfois tendance à considérer que les traditions doivent être ancrées dans un passé lointain. Néanmoins, le programme du Tigray montre que les traditions peuvent également se former dans un temps plus court.

## Références

Field survey by Kifle Woldemariam Woldearegay

Tigray Bureau of Agriculture and Rural Development (2011). Soil and water conservation report.

TheWaterChannel. (2011). Land, Water and Livelihoods: Watershed Movement in Tigray [online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/1809-land-water-and-livelihoods-watershed-movement-in-tigray> [accessed 18 August, 2011].

## 3.3. Rétention de l'eau au moyen de « joues de singes » (monkey cheeks)



Thaïlande

Retenue de l'eau en période de crues et de sécheresse

Bien que l'eau de pluie ne manque pas en Thaïlande, la sécheresse demeure un problème majeur dans de nombreuses régions, en particulier dans le nord-est du pays. Ce phénomène est dû à la faible capacité de conservation des eaux pluviales. Selon l'Institut d'hydro informatique agricole (HAI), 5,7 % seulement des eaux de pluie sont stockés.

Le terme « monkey cheek » fut trouvé par le roi Bhumibol Adulyadei, qui utilisa cette métaphore pour promouvoir les systèmes locaux de retenue d'eau et fait partie de sa « nouvelle vision » de l'agriculture. Il fait référence aux singes qui remplissent leurs joues pour faire des réserves de nourriture. La nourriture est stockée, puis mâchée et consommée ultérieurement. Ces « joues de singe » représentent essentiellement le principe des 3 R : recharge, retenue et réutilisation. Au



Figure 1: Une joue de singe à Ban Limthong. (Crédit photo: Institut hydroinformatique, (Hydro and Agro Informatics Institute - HAI, Bangkok)

départ, le programme « monkey cheeks » fut initié pour résoudre les problèmes rencontrés par la capitale Bangkok en période de crues. Il fut ensuite largement développé dans le reste du pays surtout dans le nord-est. Le nord-est, région la plus sèche du pays, est aussi une région où l'on ne peut pas construire de grands barrages. Les joues de singe peuvent varier en taille. Parmi les projets les plus importants développés par le Royal Irrigation Department (RID - Département royal de l'irrigation) en 2010, on compte l'aménagement de 197 réservoirs d'eau (monkey cheeks) correspondant à une capacité totale de stockage de 117 millions de mètres cubes. Par ailleurs, un nombre important de réservoirs a été créé à l'échelon des communautés.

## Ban Limthong

Le village de Ban Limthong, situé au nord-est du pays, est un des villages ayant repris à leur compte l'initiative « monkey cheek ». Situé dans le sous-district de Nongbood, dans la province de Buriram, il est composé de 108 ménages, soit 563 personnes. La principale culture est le riz, cultivé pendant la saison humide. Champignons, tapioca, doliques, pastèques, concombres et autres légumes sont également cultivés par les petits agriculteurs pour pouvoir disposer d'un complément de revenu.

Ban Limthong est situé dans le bassin supérieur de la rivière Lam Plaimas. Dans le district de Nangrong, la moyenne des précipitations mensuelles est de 1 380 mm, mais la différence entre la saison sèche et la saison humide est très importante. Composé de rizières pendant la saison humide, le paysage est durant la saison sèche dominé par des étendues de sol sableux. Du fait de sa relative altitude, l'eau du canal approvisionnant Ban Limthong s'assécha, ce qui obligea les habitants à faire de longues marches pour aller collecter l'eau nécessaire à leurs besoins de base. Les villageois craignant une sous-production de leurs cultures en cas de précipitations inférieures à la moyenne, la concurrence pour l'accès à l'eau se développa entre les villages avoisinants. En revanche, pendant la saison humide, le surplus d'eau inondait souvent les terres agricoles, provoquant leur dégradation. À Ban Limthong, le phénomène entraîna l'endettement et l'exode des agriculteurs.

Le gouvernement est régulièrement intervenu pendant ces désastres périodiques. Chaque année, l'eau était transportée par camions pendant la saison sèche, mais la mesure s'avérait en général insuffisante. Pendant les périodes de crues, des sacs de sable et des pompes étaient distribués. Un réservoir fut construit, mais son emplacement était inadéquat et sa taille insuffisante.

## Investir dans la retenue de l'eau

Le fait d'être tous confrontés aux mêmes problèmes d'un endettement et d'un manque d'eau croissants conduisit un groupe de villageois à se rassembler autour de Sanit Tipnangrong or Na Noi. Celui-ci prit contact avec la Fondation Suksapattana située dans la région. Progressivement, d'autres villageois se joignirent à eux, y compris issus des villages voisins. Le groupe de Ban Limthong recueillit des informations sur la demande en eau au sein de leur village et collaborèrent avec ces villages. C'est ainsi que l'Institut hydro informatique agricole (HAI) fournit à ces communautés des données et des conseils sur l'utilisation des technologies de l'information dans

les phases de planification et de surveillance.

L'HAII leur a également fourni des appareils GPS portatifs, ainsi que des images satellites de la région. Par ailleurs, diverses études de terrain ont été entreprises, pour collecter des données, analyser les problèmes des ressources en eau des communautés et mettre au point des solutions adaptées. Les villageois ont eux-mêmes élaboré des plans pour la création de systèmes de retenue des eaux, en particulier : 1) la construction d'un système de canaux d'irrigation pour détourner l'eau du bassin supérieur. 2) la construction d'un ensemble de réservoirs (« monkey cheeks ») destinés au stockage de l'eau, en vue d'accroître la capacité de stockage et de prévenir les inondations. 3) l'aménagement de petits étangs de stockage sur les exploitations. Le système de canaux sera relié aux monkey cheeks et aux zones agricoles. La demande en eau potable et domestique a été évaluée à 120 litres par personne et par jour et les besoins pour l'agriculture à 5,2 millions de mètres cubes par an.

### Système de canaux d'irrigation

Le plan relatif au système de canaux d'irrigation fut soumis au bureau du district du Département royal de l'irrigation en 2006. Sa construction eut lieu au cours des deux années suivantes. Le canal sans revêtement mesurait 3 600 mètres de longueur et environ 3 mètres de profondeur. Sa capacité annuelle de stockage de l'eau est de 121 000 m<sup>3</sup>.

### Bassin de retenue d'eau (« Monkey Cheeks »)

Les « monkey cheeks » stockent l'eau pendant les périodes de fortes précipitations. Ils fonctionnent par écoulement gravitaire. Les bassins se remplissent lorsque le niveau de l'eau s'élève dans le canal d'irrigation, et les vannes se ferment lorsque l'eau dans les bassins excède celle se trouvant dans le



Figure 2: Petits réservoirs de stockage et canaux interconnectés afin de constituer des zones tampons (Crédit photo: Hydro and Agro Informatics Institute (HAI), Bangkok)

Tableau 1: Monkey Cheeks construits

	Dimensions en m	Capacité (m <sup>3</sup> )	Surface excavée (m <sup>2</sup> )
Monkey cheek 1	60, 60, 3	10,800	3,600
Monkey cheek 2	40, 50, 3	6,000	2,000
Monkey cheek 3	30, 80, 3	7,200	2,400
Monkey cheek 4	80, 80, 3	19,200	6,400
Monkey cheek 5	40, 60, 3	7,200	2,400
Monkey cheek 6	30, 100, 3	9,000	3,000
Monkey cheek 7	30, 70, 3	6,300	2,100

canal. Pendant la saison sèche, le niveau de l'eau du canal baisse, l'eau des bassins (monkey cheeks) est peu à peu déversée dans le canal. À Ban Limthong, sept bassins ont été placés en divers points le long du réseau de canaux d'irrigation. Ces sept bassins, de taille relativement modeste (voir Tableau 1), représentent une capacité de stockage de 65 700 m<sup>3</sup>. Si l'on tient compte de la capacité du canal, la capacité totale de stockage est de 186 700 m<sup>3</sup>. Des levées ont été aménagées autour des bassins avec de la terre comprimée. Ces digues sont généralement de 10 m de largeur et de 1,5 m de hauteur.

### Petits bassins sur les exploitations

Une fois que le canal d'irrigation et les monkey cheeks ont été aménagés, des canaux de distribution ont été construits afin de pouvoir distribuer l'eau aux exploitations les plus éloignées. Pour pouvoir gérer de manière efficace les ressources en eau et leur exploitation et assurer une activité permanente, les villageois ont également aménagé de petits bassins sur leur exploitation, conformément à la « nouvelle théorie » sur l'agriculture (Voir Encadré 1).

Pour permettre la réalisation de cette composante, la Development Cooperation Foundation a établi un fonds renouvelable d'un montant de 17 000 dollars US pour le village. Pour pouvoir participer au fonds, les villageois doivent en être membres et s'acquitter d'un droit d'entrée modique. Les membres peuvent soumettre le plan de leur projet au fonds. Si le projet est approuvé, ils reçoivent une aide pour préparer la zone concernée. Surtout, les membres doivent participer au programme de formation portant sur la gestion et l'utilisation des bassins, afin d'en tirer un maximum de bénéfices. L'argent qu'ils empruntent ne peut servir que pour construire un bassin sur leur exploitation ou pour d'autres dépenses figurant sur le plan écrit soumis au fonds. Les membres peuvent emprunter des fonds supplémentaires assortis d'un taux d'intérêt faible pour des investissements envisagés sur l'exploitation. Le fonds peut prêter approximativement 20 000 THB (soit 666 dollars US) pour la construction de chaque bassin. Son objectif est d'aider à la construction de 10 bassins situés sur des exploitations par an. Les membres doivent en principe rembourser, soit la totalité des sommes empruntées en l'espace de quatre ans, soit environ 660 THB (22 dollars US) par mois. Le comité responsable de la gestion du Fonds doit présenter un rapport annuel à la Fondation.

### Coûts et financement

La construction d'un système de canaux d'irrigation d'un coût de 92 000 dollars US bénéficia

### Encadré 1: La « nouvelle vision » de l'agriculture en bref

Le concept de « nouvelle vision de l'agriculture » développé par le souverain thaïlandais définit le contenu d'une gestion efficace de l'eau et des sols dans une zone agricole limitée (superficie moyenne de 16 000 à 24 000 m<sup>2</sup>) pour y obtenir un bénéfice optimal. Selon ce concept de « nouvelle agriculture », les terres doivent être divisées en quatre parties selon le ratio 30 : 30 + 30 : 10.

La première partie (30 %) est réservée à la construction d'un petit bassin qui doit contenir 19 000 m<sup>3</sup> d'eaux de pluie. Cette quantité est considérée comme suffisante pour répondre aux besoins d'une petite exploitation agricole sur une année. La culture de plantes aquatiques comestibles et l'aquaculture sont recommandées dans cette région, car elle fournit aux agricultures un complément de revenus et de la nourriture.

Les deuxième et troisième parties (30 % + 30 %) représentent les terres agricoles. La première moitié est utilisée pour la culture du riz et la seconde est réservée aux cultures sur champs, graminées et arbres fruitiers, en fonction des conditions du sol et de l'état du marché. La production est utilisée pour la consommation domestique et l'éventuel surplus est commercialisé.

La quatrième partie (10 %) est allouée aux services – habitations, routes, canaux, zones de stockage, jardinage domestique et bétail.

de l'aide du Département royal de l'irrigation. La construction de bassins de rétention (monkey cheeks) fut aidée par la Fondation Coca-Cola de Thaïlande. Après avoir étudié le plan des villageois, la Fondation Coca-Cola approuva le budget présenté de 1 400 000 (47 000 dollars US) destiné à financer la construction. L'HAII prit contact avec l'Unité de développement mobile de l'armée thaïlandaise pour qu'elle aide à la fourniture d'équipements et de machines nécessaires pour la construction et mit en œuvre le projet conformément au plan. Le fonds renouvelable destiné aux bassins construits sur les exploitations agricoles s'élevait à 17 000 dollars US.

Les villageois qui sont propriétaires des terres où le système de canaux d'irrigation et les monkey cheeks sont construits donnent leur autorisation pour que ces terres soient utilisées à des fins d'utilité publique. En conséquence, la fourniture des terres nécessaires n'occasionne aucun coût. Le « Comité communautaire de l'eau » fut établi pour gérer le lancement du projet, établir un plan, et plus tard surveiller et gérer les installations d'approvisionnement en eau de la communauté. Le comité s'est également élargi pour constituer un réseau participatif intégrant les communautés voisines. Une base de données des utilisateurs de l'eau fut établie, ce qui permit de percevoir des frais administratifs auprès de ceux figurant sur la liste. L'argent collecté fut utilisé pour la maintenance du système d'approvisionnement en eau et d'autres services publics. On a planté du vétiver sur les bords de chaque bassin (monkey cheek) et sur les berges du canal afin de maintenir leur solidité et d'éviter l'érosion du sol. Cette mesure a également permis de réduire les coûts de dragage et de maintenance. Par ailleurs, les racines du vétiver, longues de 3 mètres, aident à réduire l'évaporation de l'eau et à préserver l'humidité du sol.

Le propriétaire foncier est considéré comme la personne responsable de la gestion des bassins de rétention sur ses terres et agit en compagnie de cinq membres (villageois). Chaque groupe assure l'entretien du monkey cheek et utilise la zone qui l'entoure pour faire de la polyculture,

expérimenter le concept d'« agriculture nouvelle », et mettre en place un plan de cultures permettant d'avoir des récoltes tout au long de l'année. Les enseignements tirés et les données collectées ont été partagés par les agriculteurs. Les expériences réussies sont reproduites ailleurs.

## Bénéfices

Le système mis en place – combinant bassins de rétention (monkey cheeks), système de canaux d'irrigation, canaux de distribution et petits bassins au niveau de l'exploitation – a permis de résoudre les problèmes liés aux inondations et à la sécheresse qui, pendant des décennies, ont été un fléau pour la communauté. Il a également permis de créer une zone tampon stable.

Ce programme a assuré aux villageois un approvisionnement en eau durable et disponible toute l'année, tant pour les activités agricoles que domestiques. Les eaux de pluie collectées ne sont pas seulement utilisées pour cultiver le riz et d'autres cultures, mais aussi pour l'élevage du bétail, la pisciculture et la raniculture. La terre est cultivée tout au long de l'année. Les agriculteurs n'ont plus à craindre des précipitations tardives ou les problèmes de croissance des cultures dus à un manque d'eau. Au niveau des ménages, l'extension des tampons a permis une augmentation des revenus, aujourd'hui plus stables et plus prévisibles.

Les bénéfices de ces systèmes de canaux et de bassins de rétention ont été enregistrés par les ménages agricoles de Ban Limthong et des villages voisins (au total, 1038 ménages). Au total, 608 hectares sont approvisionnés en eau. Le niveau de vie des habitants s'est amélioré grâce à l'augmentation de leur épargne et à une baisse progressive de leur endettement. Ils ne perdent plus de temps à la collecte de l'eau. Un grand nombre de ceux qui étaient partis travailler en ville sont revenus pour travailler la terre et être avec leur famille.

Le tableau montre les effets économiques enregistrés par un ménage moyen (basé sur un échantillon de 15). Le programme de développement de tampons basés sur la technique des monkey cheeks a entraîné un rendement net de 105 500 THB (soit 3 500 dollars US) par famille. Le remboursement du capital investi est donc réalisé au bout de trois ans environ.

De plus, le système a une double utilité, servant d'outil de protection contre les inondations. En outre, il constitue une solution pour résoudre les problèmes de pollution de l'eau fréquents dans les canaux lorsque le niveau de l'eau est bas. Lorsque l'eau est libérée des bassins de rétention, elle s'écoule le long du réseau de canaux et contribue à diluer les eaux stagnantes grâce à l'apport d'eau propre.

Tableau 2: Amélioration du revenu moyen d'un ménage par an (en Baht) - basée sur un échantillon de 15

	Avant mise en œuvre	2007	2008	2009 (« nouvelle agriculture »)
Revenu	6,867	102,984	148,489	164,949
Dépenses	7,600	46,233	71,163	59,356
Total	-733	56,751	77,372	105,593

## References

Hydro and Agro Informatics Institute (2010). The 3rd Competition of Community Water Resource Management according to His Majesty the King's Initiatives. Bangkok

Hydro and Agro Informatics Institute (-) From Learning to Water Resource Management, Ban Limthong. Bangkok

Hydro and Agro Informatics Institute, 2006. *Analysis Report Solutions to Community Water Scarcity Problem*. Bangkok: HAI.

TheWaterChannel (2012). Land, Water and Livelihoods: Watershed Movement in Tigray. [Online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/1809-land-water-and-livelihoods-watershed-movement-in-tigray> [accessed on 24 August 2011].



## 3.4. Collecte des sédiments au moyen de barrages de rétention



### Plateau de Løess, Chine

#### Introduction

Le plateau de Løess, situé dans le nord de la Chine centrale, couvre une superficie de 640 000 km<sup>2</sup> et compte plus de 50 millions d'habitants. Le cours moyen du Fleuve jaune traverse le Plateau. L'utilisation intensive du plateau et l'absence de mesures de conservation ont conduit à une dégradation à grande échelle des terres vulnérables de la région, le løess étant fortement érodable. Le plateau a en effet l'un des taux d'érosion les plus élevés du monde (Rappelons que le Fleuve jaune doit son nom à la couleur des sédiments de løess qui y sont déposés). On estime qu'environ 1,6 milliard de tonnes de sédiments viennent s'y déposer chaque année. Dans les années 1990, le gouvernement chinois, aidé de la Banque Mondiale, initia le plus important projet de transformation des paysages jamais réalisé dans le monde, à savoir la réhabilitation du plateau de Løess. L'objectif du programme était d'accroître le revenu agricole et d'améliorer les conditions



Figure 1: Barrage de rétention dans la province de Gangsu, Chine (Crédit photo: Banque Mondiale, bureau de Pékin).

### Encadré 1: Le colmatage

Le colmatage consiste à aménager au moyen d'alluvions des terres composées de matières riches en humidité le long des rivières et cours d'eau. La technique n'est pas propre au plateau de Loess. Elle a été utilisée en Angleterre, notamment le long de l'estuaire de Humber et de la Tamise, où de l'eau limoneuse a été apportée vers les berges, créant ainsi de nouvelles terres fertiles. La même méthode a été appliquée le long de la rivière Yssel aux Pays-Bas, où des *worptgronden* (terres alluvionnées) ont été aménagés. Dans de nombreux systèmes de production agricole basés sur l'inondation des terres, la terre s'établit à partir de sédiments. Les sédiments y sont donc un bienfait et non un drame comme dans de nombreux systèmes d'irrigation pérennes.

écologiques des affluents du Fleuve Jaune. Le programme comprenait les principaux éléments suivants: construction de terrasses, protection des terres en pente grâce à l'interdiction du pâturage, et aide aux and irrigated agriculture (World Bank, 2005). By reducing the sediment flow into the Yellow River flood risks downstream are reduced drastically and a substantial sum is saved on raising dikes in the Yellow River.

### Barrages de rétention de sédiments

Les barrages de rétention de sédiments sont des barrages construits sur des ravines pour collecter et intercepter les sédiments et ainsi créer de nouvelles terres. Les barrages sont d'une hauteur notable – en principe, ils peuvent aller jusqu'à cinq mètres. La construction de ces barrages, destinés à collecter les sédiments et à reconstruire les terres mais également à assurer à long terme une meilleure retenue de l'eau, a constitué une des caractéristiques du programme.

D'après la légende, le premier barrage de rétention aurait été créé à la suite d'un glissement de terrain survenu il y a quatre siècles dans la province du Shanxi. Les sédiments se déposèrent devant le barrage, créant une terre nouvelle, et le rendement des cultures augmenta grâce à la fertilité du sol. Le barrage fut surélevé par les populations locales pour atteindre une hauteur de 60 mètres, et une surface agricole de 53 hectares se développa derrière (Unesco, 2004).

Le gouvernement chinois ayant, dans les années 1950, construit un tel barrage à des fins d'expérimentation et de communication, la construction de barrages de rétention de sédiments acquit progressivement une certaine popularité. Cependant, à la fin des années 1970, plusieurs barrages furent détruits en raison de méthodes de construction inappropriées et d'inondations d'une ampleur inédite (Zang et al, 2003). À partir des années 1990, la construction de tels barrages s'accéléra dans le cadre du Plan de développement de la Chine occidentale.

Dans les projets de réhabilitation du bassin versant du plateau de Loess établis par la Banque Mondiale (2005), la construction de barrages de rétention, parallèlement à d'autres types de barrages de contrôle de la sédimentation (Voir Encadré 2), joua également un rôle important. Au total, la réalisation de 1 272 barrages de rétention, 264 barrages principaux, 3 719 barrages de contrôle et 171 278 hectares de terrasses, ainsi que diverses mesures relatives à la végétation furent entreprises dans le cadre de ces projets de réhabilitation. Le coût total des deux projets s'éleva à 300

millions de dollars US. On estime que cela a permis de réduire de 82 millions de tonnes le volume des sédiments.

## Construction

Le développement d'un barrage de rétention comprend deux étapes : 1) Réhabilitation des terres, et 2) Consolidation et gestion. L'étape d'aménagement des terres prend plusieurs années (en moyenne, 3 à 5 ans, mais parfois plus de 10 ans). À ce stade, les bassins de rétention ont collecté suffisamment de sédiments pour que les agriculteurs puissent commencer à cultiver les terres. Ensuite débute l'étape de consolidation. La stabilisation est nécessaire lorsque les barrages sont complètement remplis de sédiments, en particulier par la création de structures de contrôle des débordements. Cela peut être réalisé de diverses manières : en donnant une forme circulaire aux déversoirs, en redessinant le dessus du puits pour en faire un déversoir, en construisant un déversoir latéral, ou en concevant un barrage en terre fonctionnant comme barrage-déversoir. La construction de barrages de rétention nécessite la prise en compte de nombreux facteurs. La densité des barrages dépend de facteurs naturels, tels que la pente, la densité du ravinement et la possibilité de retenir le limon pour créer des terres agricoles (Encadré 3). Le nombre de barrages dépend de la pente et de la largeur du ravin. Dans le plateau de Löss, on compte 2 à 5 barrages par km<sup>2</sup> dans les zones où la pente est de 2-3 % et où la densité de ravines est de 3-7 km par km<sup>2</sup> (Unesco, 2004).

La construction d'un barrage de rétention nécessite une approche par zone. Il est essentiel d'examiner les mesures existantes et les facteurs naturels de la zone (par exemple, les systèmes de

Tableau 1: Classification des barrages de rétention et des barrages principaux

Classification km	Longueur des ravines km	Capacité de stockage 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Hauteur du bar- rage m	Zone de réten- tion ha
Small	0,3	10-100	< 15	<1
Medium	3-5	100-500	15-30	1-15
Large	> 5	500-5000	>30	>15

Source: UNESCO 2004

cultures, les pentes, les utilisateurs en amont et en aval). Il est également important de considérer les barrages principaux et les barrages de rétention comme faisant partie d'un même système de gestion des sédiments.

## Bénéfices

Les bénéfices des barrages de rétention de sédiments concernent notamment le bassin supérieur. Les sédiments capturés par les barrages ou les terres alluvionnées sont riches en matière organique et les concentrations d'humidité du sol sont jusqu'à 80 % supérieures à celles des terres en pente. Le rendement de ces terres peut être deux ou trois fois supérieur à celui des terres en terrasse et jusqu'à six à dix fois supérieur à celui des pentes cultivées (Unesco, 2004). Dans le plateau de Löss, ces barrages ont également été utilisés pour relier les routes dans les villages. Ce nouveau bénéfice a contribué à améliorer la popularité des installations.

## Encadré 2: Trois types de barrages de contrôle des sédiments

1. Les barrages principaux sont les barrages les plus grands (15-30 mètres de haut). Contrôlant le bassin versant sur des zones de 10-15 km<sup>2</sup>, ils sont typiquement situés à proximité de l'embouchure des cours d'eau. Ils contribuent à la retenue des sédiments, mais peuvent également servir pour contrôler de petites crues et faire fonction de réservoir d'eau.
2. Les barrages de rétention sont plus petits (environ 5 m de haut). Ils sont normalement situés dans les parties les plus larges des ravines, en aval d'un barrage principal. Leur fonction consiste uniquement à intercepter les sédiments et à créer des surfaces plates de terres arables.
3. Les barrages de retenue sont de petits barrages (1 à 2 m de haut) construits sur un terrain rocheux ou fait de brindilles. Ces barrages ralentissent le débit de l'eau dans les ravines en forte pente et préviennent le sapement des côtés de la ravine. Les côtés des ravines profondes du plateau du Loess engendrent 50 % des ruissellements charriant des sédiments. Les barrages de contrôle des sédiments interceptent ces sédiments à la source. Pour restaurer la capacité de stockage perdue en raison de la présence de sédiments, la hauteur des barrages peut être périodiquement augmentée.



Figure 2: Série de barrages de contrôle des sédiments (Crédit photo: Bureau de Pékin de la Banque Mondiale)

Il existe par ailleurs des bénéfices secondaires. Une analyse de plus de mille barrages d'un bassin type faite dans la région de Loëss (Unesco, 2004) a permis d'établir que la moyenne des sédiments retenus par barrage était de 2,78 km<sup>3</sup>. Les données de la province de Shanxi montrent une baisse de 51 % des sédiments transportés dans le Fleuve jaune après la construction des barrages de rétention.

Ces bénéfices sont en général reconnus par ceux qui ont investi dans le projet de construction (en moyens financiers ou en main d'œuvre). L'entretien et la gestion sont principalement pris en charge par une autorité villageoise, mais d'autres formes de droits de propriété existent. Parmi elles, les accords contractuels entre ménages et autorités locales ou les accords de leasing passés avec des compagnies privées.

L'autofinancement de ces barrages est possible. Certains ont souligné que si les barrages de rétention répondant aux exigences types sont construits avec des fonds privés et que l'on paie 0,12 dollar US par tonne de sédiment collecté, de nombreuses coopératives villageoises et propriétaires individuels de tracteurs seraient encouragés à consacrer leur travail et leurs ressources à leur construction, sans autre assistance du gouvernement. Dans le cadre du même accord, les autorités

### Encadré 3: Exemples de bénéfices

#### Mongolie intérieure

Lijiageleng est un village de 26 ménages situé en Mongolie intérieure près de la courbe nord du Fleuve jaune. Les villageois possédaient 17 ha de terres générant un revenu par tête de 60 dollars US – demeurant donc au niveau du seuil de pauvreté. Après le développement d'un barrage de rétention et l'aménagement de 16 hectares de terres en terrasses irriguées, le revenu par tête passa à 276 dollars US en deux ans.

#### Nord du Shanxi, Chine

La construction d'un barrage principal de 35 mètres de haut – contrôlant un bassin de 3 km<sup>2</sup> et ayant une capacité de stockage de 800 000 m<sup>3</sup> – coûte environ 60 000 dollars US. Le barrage, qui peut retenir 150 000 m<sup>3</sup> d'eaux de ruissellement, collecte 37 000 tonnes de sédiments.

Voici un bref aperçu des bénéfices qu'il représente :

- Le coût de retrait des sédiments grossiers (ne pouvant pas être reversés dans la mer) est estimé à 0,24 dollar US par tonne. Comme la moitié environ des sédiments collectés dans le barrage principal est constituée de sédiments grossiers, le barrage permet à l'économie nationale d'économiser 4 440 dollars US par an.
- Le transport d'une tonne de sédiments fins jusqu'à la mer exige 20 m<sup>3</sup> d'eau. Le fait de réduire la quantité de sédiments de 18 500 tonnes par an permet d'économiser 370 000 m<sup>3</sup> d'eau du fleuve et celle-ci peut être utilisée pour d'autres usages. Cela s'ajoute aux ruissellements interceptés par le barrage et donne un gain net de 215 000 m<sup>3</sup> pour l'approvisionnement en eau.
- Les bénéfices directs pour l'agriculture sont évalués à 6 000 dollars US par an.

Source: [yellowearth.net](http://yellowearth.net)

locales (comtés) seraient subventionnées pour leurs projets de construction de routes locales, ceux-ci demandant en général des structures de terre élevées pour traverser les ravines et dotées de fonctions de captage des sédiments.

## Références

EEMP. (2005). Loess Plateau Rehabilitation - Interview with J. Voegelé [Online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/68-loess-plateau-rehabilitation-interview-j-voegele> [Accessed 14 August 2011].

Liu, J. (2010). Hope in a changing climate. Environmental Education Media Project (EEMP). [Online video] Available at: [www.thewaterchannel.tv](http://www.thewaterchannel.tv). [Accessed 23 August 2011].

TVE Life. (2005). Rehabilitating of the Loess Plateau [Online video]. Available at: <http://www.5min.com/Video/Rehabilitating-the-Ecosystem-of-the-Loess-Plateau-460502042> [Accessed 22 August 2011].

UNESCO (2004). Warping Dams – construction and its Effects on Environment, Economy, and Society in Loess Plateau in Region of China.

WorldBank 2005. Implementation completion report second loess plateau watershed rehabilitation project

Zang Yu, Cui Peng, Li Fa-bin and Wang Qing. (2003). Optimization Design of Warping Dam in Wangjiagou, Shanxi province. *Wuhan University Journal of Natural Science*. Vol 8. No. 3B.

# 3.5. Épandage des eaux de crue



## Iran

### Introduction

En Iran, un programme extraordinaire de collecte des eaux de crue a été mis en œuvre depuis 1983 dans la province du Fars, transformant le paysage désertique en un environnement verdoyant. Les eaux et les sédiments des crues occasionnelles survenant dans cette région aride ont été utilisés comme suit:

- Recharge des nappes souterraines par épandage lent des eaux de crue sur une grande surface.
- Développement des terres adaptées à l'irrigation par épandage, en utilisant le limon pour former le sol et préparer la terre en vue de l'irrigation directe
- Introduction de systèmes agricoles intégrés permettant la gestion des grandes cultures, des cultures arbustives, de l'apiculture et de l'élevage.
- Développement de plantations d'*Eucalyptus camaldulensis* sur les nouvelles terres pour s'en servir comme brise-vent et haies boisées permettant de séquestrer le carbone, produire du miel et fournir du bois aux marchés urbains.

Le programme d'épandage des eaux de crue est un bon exemple de la transformation d'une



Figure 1: Eaux de crue déviées vers l'un des bassins d'infiltration lors d'un épisode de crues en 1983, Kowsar, 2009.

menace – inondations porteuses de sédiments – en opportunité. Les eaux de crue transportent de grands volumes de sédiments (jusqu'à 5 %) qui sont inutiles pour des rivières intermittentes. Si des barrages de stockage étaient construits dans un tel environnement, leurs réservoirs s'engorgeraient rapidement. Au contraire, l'épandage du limon au moyen des eaux de crue sert à fertiliser les terres dans un désert sableux soumis en permanence aux risques de l'érosion éolienne. Les eaux de crue sont également utilisées pour recharger les nappes souterraines et pour pratiquer l'irrigation directe par épandage.

Diverses techniques sont appliquées pour épandre l'eau et les sédiments sur une vaste zone. Elles combinent notamment des canaux convoyeurs et des tuyaux à niveau (LSC). La version la plus simple d'un système d'épandage des eaux de crue consiste en un tuyau de niveau qui reçoit les eaux de crue d'une ou de plusieurs sources et permet à l'eau et aux sédiments de s'épandre lentement au-dessus du cône de déjection et du cône alluvial. Un système d'épandage des eaux de crue complet comprend généralement un déversoir de décharge, un canal de transport de l'eau, un canal sur le cône de déjection, un tuyau de dispersion (CSC), plusieurs tuyaux de niveau et des dégorgeoirs d'inondation (parfois avec des dénivelés en maçonnerie), des digues et un drain en queue. Si le système fonctionne également pour la recharge artificielle, un bassin d'infiltration est ajouté à la fin.

En conséquence, ce sont les LSC qui constituent la principale caractéristique des systèmes d'épandage des eaux de crue. Il s'agit en réalité de longs bassins d'amortissement, fermés aux deux extrémités, avec le bord de la pente exactement sur le contour. Le canal transforme des petits flux concentrés en écoulements en nappes. La section de contrôle du LSC est un seuil à niveau adjacent du bord de sa propre pente, qui permet aux eaux limoneuses de s'écouler lentement avant que les sédiments ne se déposent. La terre excavée du canal forme la berge immédiatement sur le talus amont. L'eau pénètre dans les LSC au travers de passages installés dans la berge à intervalles de 100 à 400 mètres. Les eaux normalement agitées perdent la plupart de leur énergie cinétique après leur entrée dans le bassin. Lorsque le canal est rempli, la surcharge se répand lentement le long du

### Encadré 1 : Canaux de vaporisation (CSC)

Les canaux de vaporisation (CSC) sont plus grands que les canaux à seuil de niveau. Leur fonction principale est de convertir un flux concentré venant des zones sèches en écoulements en nappes. Ils peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres. Les CSC reçoivent les eaux de crue venant de rivières permanentes ou éphémères, de conduites de drainage, de dépressions et de cours d'eau et du surplus de petits réservoirs. Les torrents ayant un débit rapide et des charges de fond lourdes risquant de perturber le fonctionnement des canaux d'étalement, des tampons de terre ou de roches sont parfois ajoutés pour retenir les eaux de crue et orienter l'eau à une vitesse réduite et dessablée au travers de passages dans les CSC. La construction des CSC est similaire à celle des tuyaux à niveau, mais en diffère cependant sur un point. Les CSC suivent une pente très douce, leur section transversale est plus large et en général, ils ne comportent ni coudes, ni angles.

## Encadré 2 : Accélérer la sédimentation

En supposant qu'une couche de 30 cm de sol à texture fine est nécessaire pour réhabiliter l'étendue sablonneuse de la plaine de Gareh Bygone (soit 3 000 m<sup>3</sup> par ha), il faut 18 Mm<sup>3</sup> de sédiments pour restaurer ces terres. Si l'on prend une moyenne annuelle de dérivation de 10 Mm<sup>3</sup>, il faudrait environ 90 ans pour restaurer toute la zone. Une façon d'accélérer cette restauration est de casser les dépôts de marne et de siltite dans le cours d'eau et de provoquer des charges de limon encore plus élevées. Une approche intégrée a été envisagée, combinant le développement de nouvelles terres en utilisant les sédiments, l'irrigation et la recharge, et la plantation d'espèces permettant de promouvoir le développement de niches agroécologiques. Un autre développement favorable est l'apparition de cloportes – un crustacé qui améliore l'infiltration des sols et aide au rétablissement de leur structure (Encadré 3).

seuil en une fine couche. Les LSC sont faits avec des bulldozers, des niveleuses ou des chargeuses frontales. Ils ne sont pas destinés à retenir l'eau, mais simplement à capter brièvement et à épandre tant l'eau que les sédiments.

Le calibrage des systèmes d'épandage dépend des niveaux de crue attendus et de l'utilisation des eaux de crue. Il n'existe pas de base théorique permettant de déterminer la disposition et l'espacement des canaux consécutifs. Cependant, deux critères sont ici importants. Premièrement, l'eau en s'écoulant ne doit pas atteindre une vitesse d'érosion. Deuxièmement, elle doit être distribuée de manière égale sur la surface comprise entre les canaux.

## Savoir quelles actions entreprendre et où les mettre en œuvre

En matière d'épandage des eaux de crue, il est important de savoir quelles actions il convient d'entreprendre et sur quels sites. On soulignera ici que, contrairement à la croyance populaire, il n'est pas toujours possible ou même sensé de systématiquement « collecter l'eau là où elle tombe ». En effet, certains captages génèrent des crues plus qu'ils ne contribuent à la recharge. De plus, dans certaines parties du bassin, la recharge n'est pas souhaitable, car elle accentuerait la salinité des eaux. Comme le dit le professeur Sayyed Ahang Kowsar, éminent scientifique qui a conduit le programme de recharge artificielle, « les bassins où prédominent les affleurements imperméables sont différents de ceux ayant des surfaces perméables ». L'Iran peut se réjouir d'avoir des bassins imperméables produisant des eaux de crue. En leur absence, il serait impossible de vivre dans des environnements aussi secs. La recharge naturelle des aquifères alluviaux ne se produit que par les crues. La recharge diffuse est pratiquement insignifiante. »

Le fleuve Helleh est un exemple de la nécessité de savoir quelles actions entreprendre et sur quels sites. L'Helleh a un bassin hydrographique de 8 600 km<sup>2</sup>, ce qui en fait le second plus grand fleuve des provinces du Fars et de Bushehr. Les eaux de la rivière Shapur, l'affluent principal de l'Helleh, sont cependant salines. Cet élément affecte l'utilisation des eaux de l'Helleh pour l'irrigation. À sa source, la rivière Shapur, alimentée par des sources karstiques, est pure. Sa salinité croît cependant au fur et à mesure que divers affluents viennent s'y jeter. On envisagea un moment de détourner

les eaux salines de ces affluents au moyen d'un système de pipelines aboutissant dans le Golfe persique. La solution ne fut cependant pas retenue en raison de son coût. Pour la même raison, la construction d'un large réservoir sur le fleuve Helleh destiné à stocker les eaux de crue et à éliminer le sel du débit entrant fut rejetée. On estima qu'une grande partie de cette eau si précieuse serait perdue en s'évaporant du réservoir et que l'on serait confronté à des problèmes de sédimentation.

Au lieu d'opter pour l'une de ces deux solutions (réservoir ou pipeline), on choisit de s'orienter vers une alternative beaucoup plus prometteuse et d'envisager une gestion attentive de la zone tampon de la rivière Shapur, afin d'augmenter le débit de base de la rivière et d'éliminer la salinité du débit sortant. En général, dans des zones semi-arides où la température est élevée, le stockage de l'eau dans des aquifères peu profonds est une solution plus coûteuse que celle consistant à construire des réservoirs en surface.

Une partie importante des eaux de crue de la rivière Shapur vient d'une zone de 770 km<sup>2</sup> située en amont des gorges de Chowgan. Le fait d'encourager une recharge plus intensive dans cette partie du bassin augmenterait le débit de base d'eau pure de la rivière Shapur. L'épandage des eaux de crue et les sites de recharge sont mieux placés à une certaine distance de l'artère principale de la rivière Shapur. Cela permettrait de s'assurer que l'écoulement souterrain atteint le Shapur au moment où cela est le plus nécessaire. Par exemple, si la recharge a lieu en décembre et que la saison d'irrigation débute en avril, la distance devra alors être ajustée en tenant compte des paramètres de l'aquifère, de telle sorte que les eaux de la recharge n'atteignent pas le débit de base de la rivière Shapur avant avril. Cela nécessite de bien appréhender les failles et fissures qui peuvent affecter l'écoulement de l'eau dans les nappes peu profondes. La même méthode peut être utilisée pour capter les eaux de crue dans d'autres affluents.

En même temps, il convient de réduire les débits sortants salins. Les eaux s'écoulant des sources salines des affluents Jareh et Dalaki devraient être déviées vers des bassins d'évaporation étanches pour éviter qu'elles ne rejoignent celles de la rivière principale. On peut donc envisager d'empêcher la sortie de ces eaux salines. Le bassin hydrographique de Shekastian est recouvert d'une formation géologique imperméable. Dans cette zone, l'écoulement salin des affluents ne provient pas des précipitations locales, mais plus vraisemblablement d'écoulements karstiques souterrains qui en traversant les failles dissolvent des bouchons de sel. Il est possible d'arrêter l'écoulement de ces sources salines en détournant le flux d'eau douce avant qu'il n'atteigne les bouchons de sel, par exemple en étanchéifiant la zone concernée et en créant de nouvelles sources d'eau douce.

### Encadré 3 : Le creusement de tunnels dans des sols de sable fin : un véritable exploit technique

Le cloporte, ou *Hemilepistus shirazi*, courant dans la plaine du Gareh Bygone, est un crustacé gris noir de 20-25 mm de long et de 5 mm de large, doté de sept paires de pattes. Comme les vers de terre ou les termites en d'autres lieux, les cloportes font dans cette zone aride fonction d'ingénieurs de l'écosystème. Ils permettent en effet de conserver la recharge due aux crues et d'améliorer progressivement la qualité des dépôts du sol.

Vivant dans des endroits humides, se nourrissant de végétaux, ils digèrent la matière organique du sol. Ils sont également répandus dans les zones arides du Gareh Bygone où l'on pratique l'épandage des crues. Animaux fouisseurs, préférant les sous-sols humides, ils empêchent le colmatage du sol de la zone d'épandage par de fins sédiments.



Figure 2: Le *H. reaumuri* (cloporte) pénétrant dans son trou (Source: Kowsar, 2009)

Leurs terriers (7 mm de diamètre et jusqu'à 180 cm de profondeur) servent à aérer et à perforent le profil pédologique. En Asie centrale, pendant la période où ils sont actifs (environ trois mois), les cloportes remuent au moins 1,5 tonne de sol. Ce sol perforé contient plus de matière organique, a une meilleure structure et est plus résistant à l'érosion que le sol dont il provient. Les cloportes cimentent leurs terriers avec leur liquide organique. Les étroits tunnels de sable très fin – qui devraient normalement s'effondrer – sont recouverts d'une couche extrêmement fine d'un matériau grisâtre. L'organisme a une durée de vie d'un an environ. La poche de reproduction blanche que la femelle possède sous l'abdomen se bombe en mars. Les œufs se transforment en larves dans la poche et 60 à 70 cloportes, calqués sur leurs parents, sont libérés au mois de mai. Ils sont très actifs au printemps et en automne. Ils sortent de leurs terriers et viennent humer l'air frais à l'aube et en fin de journée. Ayant tendance à se déshydrater facilement, le fait de creuser des trous profonds dans le sol leur permet de trouver un environnement humide et d'éviter cette déshydratation.

L'apparition de cloportes dans la plaine du Gareh Bygone a permis d'accroître le taux d'infiltration de la couche supérieure du sol dans les zones de recharge artificielle des nappes souterraines. La sédimentation comportant des particules d'argile et de limon dans les bassins d'infiltration entraîne souvent une obstruction des couches supérieures du sol, empêchant l'infiltration et réduisant dramatiquement l'humidité du sol et les taux

de recharge. Les terriers creusés par le cloporte conduisent à la création de macropores qui empêchent toute obstruction et contribuent même à une augmentation du taux d'infiltration dans la zone de recharge – celui-ci pouvant atteindre  $50 \text{ mm h}^{-1}$ , équivalent à  $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Les terriers du cloporte sont reliés à un réseau beaucoup plus large, constitué par le système racinaire formé par les vieilles racines des eucalyptus et des acacias et par les ouvertures créées à la surface du sol par les stercoraires. Ces bousiers sont indirectement attirés par la présence d'arbres fourragers et du bétail. Le fumier produit par le bétail sur le site et transporté par les eaux de crue fournit une niche écologique pour ces insectes. En assouplissant le sol, les bousiers initient le réseau d'infiltration. Le taux d'infiltration type trouvé pour les sites des bassins d'infiltration ayant de la végétation atteignait au maximum  $93 \text{ mm/h}$ , les taux d'infiltration sur les sites non recouverts de végétation y étaient beaucoup plus faibles ( $4 \text{ mm/h}$ ). Une inspection plus détaillée du sol a révélé une forte densité de macropores autour des arbres, formés par le cloporte dans la couche supérieure ( $1 \text{ m}$ ) du sol et par les racines des arbres plus en-dessous. Des recherches ultérieures dont ont fait état Kowsar et Pakparvar (2004) ont révélé des taux d'infiltration moyens de  $77 \text{ mm/h}$  dans les sols envahis par les cloportes et de  $27 \text{ mm/h}$  seulement dans les sites contrôlés. Dans leur conclusion, les auteurs de l'étude soulignent que les macropores, formés par les cloportes et les racines des eucalyptus, ont stabilisé et sensiblement amélioré la conductivité hydraulique de la couche supérieure du sol, établissant ainsi la structure indispensable pour permettre la recharge des aquifères. Dans la plaine de Gareh Bygone, aucun effet négatif lié à la présence des cloportes n'a été enregistré. Cependant, le cloporte peut dans d'autres cas être considéré comme un parasite, par exemple dans les cultures de safran. Ils consomment des matériaux végétaux vivants et des déchets végétaux, leur introduction dans des zones agricoles requiert par conséquent une certaine prudence.

## Références

- Colloff, M.J., Pullen, K.R. and Cunningham, S.A. 2010. Restoration of an ecosystem function to revegetation communities: The role of invertebrate macropores in enhancing soil water infiltration. *Restoration Ecology*, 18 (S1), pp. 65-72.
- Jones, C.G., Lawton, J.H. and Shachak, M. 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78 (7), pp. 1946-1957.
- Khanmirzaei, A., Kowsar, S.A. and Sameni, A.M. 2011. Changes of Selected Soil Properties in a Floodwater-Irrigated Eucalyptus Plantation in the Gareh Bygone Plain, Iran. *Arid Land Research and Management*, 25 (1), pp. 38-54.
- Kowsar, S.A. 2009. Desertification Control through Floodwater Harvesting: The Current State of Know-How. *The Future of Drylands* (4), pp.229-241. Available at: <http://www.springerlink.com/content/m83420014j436280/export-citation/> [accessed on 14 August 2011].
- Kowsar, S.A. and Pakparvar, M. 2004. Assessment methodology for establishing an Aquitopia, Islamic Republic of Iran. In: *Proceedings of the Second International Workshop, 29 November - 2 December 2003, Shiraz, I.R. Iran*, pp. 40-55. UNESCO: UNESCO-MB Drylands Series No. 3.
- Rahbar, G. (no date). The effects of spate irrigation on soil infiltration rate in Kowsar aquifer management station. Mimeo.

# 3.6. Utilisation des paysages naturels

## Turkménistan

### Introduction<sup>1</sup>

Au Turkménistan, dans le désert très aride de Karakoum, on utilise les surfaces naturelles – appelées *takyr*s – pour collecter l'eau. Les *takyr*s, larges bandes formées dans un paysage désertique, se caractérisent par une topographie constituée de terrains plats ou faiblement inclinés. Ce sont des dépôts de matières argileuses regroupés dans des zones de drainage. Au Turkménistan, ces zones occupent une surface de 19 000 km<sup>2</sup>. Des *takyr*s de plus de 1 km<sup>2</sup> recouvrent 11 300 km<sup>2</sup> de cette superficie. Étant par nature imperméables, leur taux d'infiltration est faible et, en raison de leur inclinaison, ils fournissent des volumes importants d'eaux de ruissellement des précipitations (pourtant faibles) qu'ils reçoivent. Lorsqu'il est impossible d'utiliser les écoulements de surface ou les aquifères, les *takyr*s constituent une option efficace pour la collecte de l'eau. On estime qu'à l'échelon national, ils sont capables de produire un volume de 350 à 450 M d'eau par an. Seule une infime partie est utilisée pour le moment en vue d'usages productifs.

### Systèmes de tampons

Le désert de Karakoum couvre la plupart de la surface du pays. L'été y est chaud et sec et l'hiver très court. La pluviosité – concentrée sur les mois d'hiver plus frais – est normalement de 110-200 mm par an. Les populations du désert ont développé plusieurs techniques de tampons leur permettant

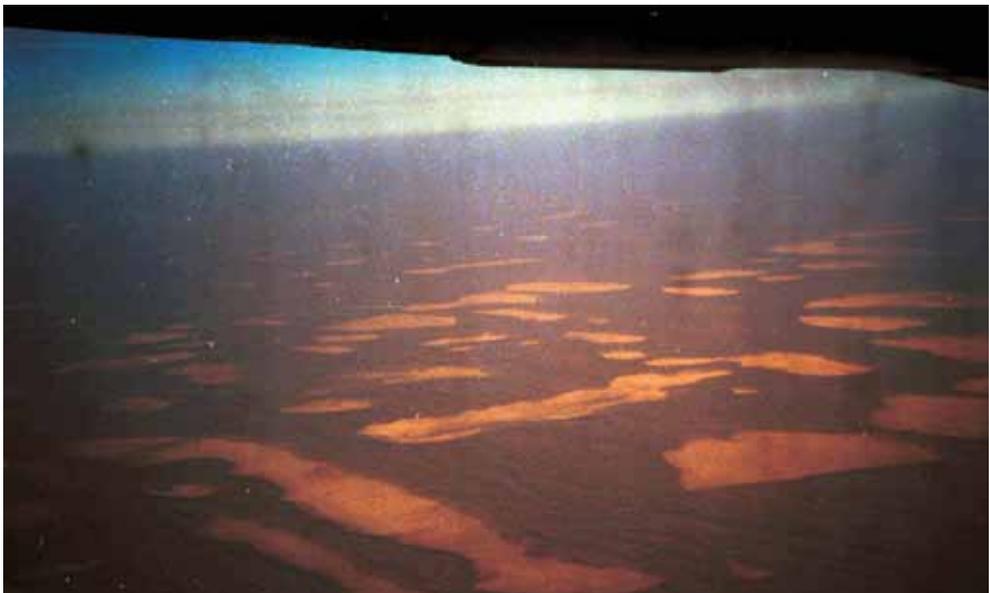


Figure 1: Les Takyr vus du ciel (Crédit photo: W.P. Spaan).

1 Ce cas est basé sur l'étude de Fleskens et al. (2007).

de conserver les ruissellements pendant les périodes humides et d'assurer leur survie pendant la longue saison sèche. Néanmoins, la principale activité demeure l'élevage.

Parallèlement à la garde de leurs troupeaux, les ménages ont développé une production agricole à petite échelle, destinée à leur propre consommation et à la production de fourrages pour le bétail.

En raison de leur spécificité, les takyrs constituent une surface idéale pour la récolte des eaux de ruissellement. Plusieurs techniques sont utilisées pour stocker l'eau qui sert ensuite pour la production agricole : sols, aquifères peu profonds, réservoirs fermés et bassins ouverts. Toutes les techniques utilisent la faible perméabilité du paysage naturel pour recueillir les eaux de pluie. On a souvent recours à deux méthodes ou plus consécutivement pour optimiser la collecte de la faible quantité d'eaux de pluie disponible. Les principales techniques de stockage sont les suivantes:

#### *Khaks*

Il s'agit de dépressions artificielles qui collectent l'eau des takyrs pendant les épisodes pluvieux et la stocke dans des réservoirs en plein air. Ils sont surtout utilisés pour abreuver le bétail pendant une période de 2 à 4 mois suivant les mois d'hiver. En raison d'un taux d'évaporation élevé, ces bassins ne peuvent en effet être utilisés de manière efficace que durant les premiers mois de la saison sèche. Ils ne conviennent pas pour la consommation humaine, car l'eau contenue dans ces réservoirs ouverts est vite contaminée. L'investissement nécessaire pour construire un petit khak est d'environ 350 dollars US. Le coût d'un grand réservoir peut atteindre 960 dollars US.

#### *Sardob*

L'alternative consiste à stocker l'eau dans des citernes fermées. Ces sardobs étaient dans le passé constitués d'un mortier de chaux et de briques, et dotés d'un dôme de recouvrement. Les versions modernes sont en béton. Les sardobs collectent les ruissellements de surface, une citerne type ayant une capacité de 500 m<sup>3</sup>. Lorsque l'on a besoin d'une plus grande capacité de stockage, on construit deux structures ou plus sur le même site. Ces constructions produisent de l'eau potable, convenant pour un usage domestique et pour l'abreuvement du bétail durant les mois les plus secs. L'eau douce obtenue peut être mélangée avec l'eau saumâtre des aquifères pour abreuver le bétail pendant une plus longue période. Le coût de construction d'une unité peut atteindre 8 750 dollars US.

#### *Chirle*

Une solution alternative consiste à stocker le surplus d'eau dans le sol sablonneux des aquifères peu profonds sous le takyr et de retirer la quantité nécessaire à l'aide d'un ou de plusieurs puits. Les eaux de ruissellement sont collectées dans une dépression excavée de 2 à 12 m de diamètre, d'où elles rechargent les couches sableuses perméables situées en-dessous du takyr imperméable. L'eau concentrée est conservée dans une lentille au-dessus de l'aquifère salin et ne se mélange pas à l'eau salée en raison de sa plus faible densité. Un ou plusieurs puits peuvent ainsi être creusés dans la dépression et aux alentours. Contrairement aux autres technologies utilisées dans le désert de Karakoum, la capacité de stockage de ces « chirles » est flexible. Lorsqu'un seul puits est en fonction pour la consommation humaine, la structure coûte 2 500 dollars US. Lorsque dix puits sont creusés, le coût passe à 21 000 dollars US. Et dans le cas où les puits sont également utilisés pour abreuver le bétail ou pour améliorer les terrains de parcours, le coût atteint 36 500 dollars US. En dehors de l'investissement de départ, les coûts de maintenance sont relativement faibles (115-192 dollars US par an). Ces coûts sont généralement partagés par un grand nombre de ménages, tandis que la communauté assure l'entretien des chirles.

### *L'agriculture sur les Oytaks*

Les Oytaks sont des dépressions naturelles de type takyr couvertes d'une couche de sol sableux qui, durant les précipitations, devient humide et peut être utilisée pour l'agriculture. Les Oytaks sont traditionnellement utilisés pour cultiver des fourrages, mais peuvent également servir pour



*Figure 2: Puits chirle à Madau, dans l'ouest du Turkménistan (Crédit photo: Luuk Fleskens).*



*Figure 3: Oytak après un épisode de ruissellement (Crédit photo: Luuk Fleskens).*



*Figure 4: Oytak dans le centre du Karakoum (Crédit photo: Luuk Fleskens).*

les cultures et l'arboriculture. Ils absorbent l'eau provenant de la pente naturelle des takyrs, mais dans certains cas, les eaux de ruissellement peuvent être transportées par des rigoles de drainage. Lorsque les plantes poussent, les Oytaks ont tendance à fonctionner comme des pièges à sable et à diminuer la surface du takyr. La construction d'une rigole de drainage exige un aménagement structurel minimal et coûte 24 dollars US.

#### *Culture moderne sur les takyrs*

Dans cet environnement hostile, l'agriculture mécanisée présente évidemment un réel potentiel. Un système de rigoles de drainage parallèles peut être creusé perpendiculairement à la pente des takyrs pour créer une série de petits bassins disposés en rangées. Chaque bassin est confiné dans le côté le plus bas par un sillon dans lequel les plantes sont cultivées. Ce système repose sur le fait qu'en réduisant la zone de captage, on obtient un meilleur coefficient de ruissellement, ce qui permet une utilisation plus efficace de l'eau. Dans d'autres régions arides, des pratiques agricoles similaires sont utilisées pour améliorer la productivité des terrains de parcours. La distance entre les sillons y est en général de l'ordre de 7 à 12 mètres, en fonction des caractéristiques climatiques de la zone. Lorsque le climat est plus doux, il est même possible de cultiver des arbres fruitiers et des melons en utilisant un espacement de 20 à 25 mètres. Ces systèmes modernes exigent certes des investissements et des intrants technologiques sensiblement plus importants que les techniques traditionnelles, mais ils sont potentiellement profitables.

### Bénéfices

Ces différents systèmes d'établissement de zones tampons sont à même de fournir de l'eau douce propre à la consommation humaine et aux activités économiques dans des régions désertiques hostiles. La mobilisation d'investissements plus importants rendrait par ailleurs possible dans ces zones un développement agricole faisant appel à des techniques modernes de culture basées sur le takyr. Un ménage disposant d'une source d'eau douce directement disponible grâce à l'une de ces méthodes de collecte peut économiser les sommes qu'il aurait dû utiliser pour transporter l'eau par camion ou pour pomper l'eau saumâtre en profondeur. De plus, les exploitants agricoles pourront bénéficier d'une augmentation de la production, de troupeaux plus sains et d'une moindre dépendance vis-à-vis de l'approvisionnement en eau par canalisation.

Dans un contexte où le pastoralisme est le principal mode de subsistance, l'eau constitue un potentiel permettant une meilleure conservation des ressources naturelles, mais elle suscite également certaines interrogations. Lorsqu'elle est concentrée en quelques points, les animaux ont tendance à se concentrer dans les zones situées à proximité, ce qui amplifie les risques de surpâturage et de dégradation des sols. En même temps, en l'absence d'animaux piétinant le sol et cassant la croûte qui se trouve en surface, le sol a tendance à créer une croûte biogénétique qui risque à son tour de favoriser les processus de désertification. Quoi qu'il en soit, la pression exercée sur les ressources naturelles par le surpâturage peut être atténuée en augmentant les sources d'eau disponibles et en élargissant la surface de pâture.

En matière de production agricole, la méthode moderne de culture sur takyr semble être toujours profitable. Des études font état de taux de rentabilité interne (TRI) élevés pour la production de melons (130), les coings (38), les raisins (41) et les grenades (30), (Fleskens et al, 2007). La culture de melons sur oytaks donne un taux de rentabilité interne de 99 (Taux calculé en se basant sur

des conditions annuelles moyennes, un apport de main d'œuvre extérieur nul et une production moyenne de melons de 1 200 kg).

Pour la consommation humaine, seules les techniques fondées sur les sardobs et les chirles conviennent. Les sardobs permettent un TRI de 14. En ce qui concerne les chirles combinées avec un seul puits, le taux de rentabilité interne (TRI) était de 6,9. Dans l'hypothèse où dix puits fonctionnent, le TRI est de 8,6 (si l'apport de main d'œuvre extérieure n'est pas nécessaire et que l'on dispose d'une source d'eau douce à 20 km).

Lorsque – dans le centre de la région du Karakoum – les techniques de collecte de l'eau sont utilisées pour créer de nouveaux terrains de parcours, on enregistre un taux de rentabilité de 49 avec les sardobs, un taux de 61 avec les chirles, le taux d'un petit khak étant de 583. Ces chiffres sont basés sur un certain nombre de présupposés : fourniture de main d'œuvre exclusivement locale, dégradation des parcours interdite. Lorsque l'eau est utilisée pour améliorer les parcours, le taux de rentabilité interne (TRI) indique toujours des valeurs positives qui en garantissent la rentabilité.

## L'avenir

Le fait d'investir dans la collecte de l'eau en utilisant le paysage naturel est, sous certaines conditions, rentable. Si l'on examine le coût de l'eau collectée en fonction des méthodes utilisées, les khaks apparaissent comme étant la solution la moins onéreuse (en volume). Néanmoins, les khaks ne peuvent servir que durant quelques mois de l'année et produisent de l'eau contaminée impropre à la consommation. En revanche, les sardobs constituent la solution la moins chère pour la fourniture d'eau potable, en particulier lorsque les autres sources d'eau potable sont situées à une distance supérieure à dix kilomètres. On peut donc considérer que les systèmes de collecte de l'eau à des fins de production agricole ont tous un avenir prometteur.

Après le démantèlement de l'Union soviétique, on assista à un arrêt des investissements destinés au développement du désert et seules quelques rares installations furent alors construites. Y compris dans cet environnement inhospitalier, il existe pourtant un large potentiel inutilisé qui plaide en faveur d'une meilleure utilisation des bassins de collecte naturels. Les associations locales d'exploitants agricoles peuvent ici jouer un rôle important, tant dans la gestion du capital nécessaire que dans la création d'instruments favorisant la construction de structures de collecte.

## Référence

Fleksens, L., Ataev, A., Mamedov, B. and Spaan, W. P. 2007. Desert water harvesting from Takyr surfaces: Assessing the potential of traditional and experimental technologies in the Karakum. *Land Degradation & Development*, 18(1), pp. 17–39.



# 3.7. Fanya juu, système de cultures en terrasse



## Tanzanie et Kenya

### Introduction

Le système de terrasses *Fanya juu* a connu un fort développement dans plusieurs régions d'Afrique de l'Est. C'est au Kenya, dans le district de Machackos, que ce développement a été le plus spectaculaire, 85 % des terres y étant aujourd'hui aménagées en terrasses. Cette méthode a toutefois également été introduite dans d'autres régions, notamment dans le bassin versant de Makanya, dans le nord de la Tanzanie. Ce bassin hydrographique de 300 km<sup>2</sup> fait partie du bassin de Pangani. Dans cette région caractérisée par des précipitations très irrégulières, oscillant entre 400 et 800 mm par an, la population demeure encore largement dépendante d'une agriculture de subsistance.

Les pluies sont réparties sur deux saisons. La saison longue (*masika*) dure de mars à mai, et la saison courte (*vuli*) d'octobre à décembre. La pluviosité maximale pendant ces deux saisons est de 400 mm. La quantité d'eau étant fortement contenue, les mesures de conservation revêtent une importance cruciale pour augmenter la production et assurer la sécurité alimentaire des populations. Dans la zone de Makanya, ces mesures comprennent le sarclage à la main, l'aménagement de terrasses, les cultures intercalaires, de petites déviations des écoulements et l'irrigation provenant de micro-barrages.

### Fanya juu : lancer la terre en l'air

En Swahili, *Fanya juu* signifie littéralement « lancer en l'air ». Les systèmes de terrasses sont créés en excavant une tranchée le long d'une pente et en appliquant immédiatement la terre excavée en haut de la tranchée (Figure 1). L'opération est répétée plusieurs fois le long de la pente et il en résulte

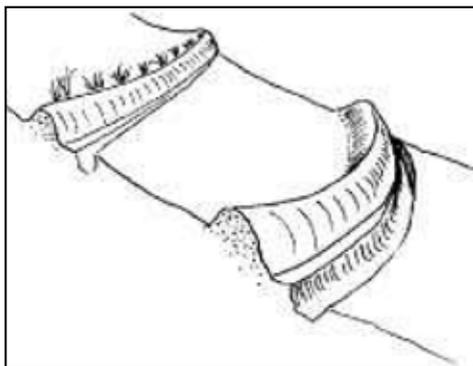


Figure 1: Diagramme d'une tranchée dans un système en terrasse Fanya juu (Source: WOCAT, 2007).

un système de bandes et de tranchées. Ensuite, il reste à espérer que la nature fera son travail. Le but de ce système est de capter l'écoulement de terre et d'eau lors des épisodes de ruissellement devant les bancs, pour que l'eau s'infilte dans les tranchées. Sur une période de 3-10 ans, les terrasses sont formées avec des gradients horizontaux.

Les Fanya juu peuvent être aménagées dans des zones où le climat est similaire à celui de Makanya et dont la pente varie de 5 à 60 %. Plus la pente est accentuée, plus leur coût augmente, et plus leur rentabilité diminue.

### Encadré 1: Conception des Fanya juu

L'espacement des Fanya juu dépend de la déclivité de la pente et du sol. Il est en général compris entre cinq et vingt mètres. Sur des sols dont la pente est inférieure à 5 %, l'espacement est compris entre vingt et trente mètres. Mais les terrasses se rétrécissent au fur et à mesure que la pente croît. De quinze à vingt mètres sur une pente de 5 à 10 %, elles passent à dix-quinze mètres sur une pente supérieure à 10 % et à 5 m sur des pentes encore plus fortes.

- La hauteur séparant deux terrasses est de 1,7 m. En gros, la distance entre deux terrasses est cent fois celle de la hauteur séparant deux terrasses divisée par le gradient du sol (en %).
- Les fosses d'infiltration ont en général 60 cm de profondeur et 75 cm de largeur.
- La diguette a en général une hauteur de 0,4 m (pouvant aller jusqu'à 0,5 m) et une base de 0,5-1 m (pouvant atteindre 1,5 m).

Sur un terrain très en pente, la diguette est placée en bas de la tranchée. Cette pratique est appelée ravine Fanya. Elle évite que sur une pente très abrupte, la diguette en terre ne s'introduise dans la tranchée. Le dessin des Fanya juu dépend également du type de sol. Dans des sols limoneux-sableux, une tranchée d'infiltration est nécessaire. Dans des sols « noirs à coton », ayant de fortes capacités de rétention de l'eau, cela n'est pas nécessaire.



Figure 2: Fanya juu à Masingi, Kenya (Crédit photo: MetaMeta)

L'espacement des tranchées et des diguettes dépend de la profondeur de la pente et du sol (Encadré 1). La construction à la main dure 90 jours par hectare sur une pente type à 15 %. Dans les zones très érodables et à sols instables, l'opération peut prendre plus de temps (150 à 350 jours/ha). Cela correspond à un coût de 60 à 460 dollars US par hectare. Les diguettes sont stabilisées avec des graminées pouvant également servir de fourrages. L'entretien annuel consiste, d'une part, à consolider les diguettes et, d'autre part, à couper les graminées.

## Coûts et bénéfices

Si les coûts d'aménagement des Fanya juu oscillent généralement entre 60 et 460 dollars US, il convient de souligner que leur aménagement évite les ruissellements incontrôlés et améliore la rétention de l'humidité dans le sol. Les agriculteurs peuvent semer plus tôt et disposer d'une saison de production plus longue. Ils obtiennent des rendements plus élevés sur les cultures existantes et

### Encadré 2: Partie d'un large plan de gestion des zones tampons.

L'accélération prévue du développement des terrasses Fanya juu fait partie des plans de sous-bassins préparés par les associations d'usagers de l'eau (WRUA) sur tout le territoire kényan.



Figure 3: Benedict Nbugi, président de l'association d'usagers de l'eau de Matuata. Les priorités au sein de l'association de Matuata sont les suivantes : prise de conscience des problèmes, création et réhabilitation de petites unités locales de stockage, creusement en profondeur des puits de surface, nécessaire sensibilisation des agriculteurs, plantation d'arbres et aménagement de terrasses en gradins (Fanya juu). (Crédit photo: MetaMeta)

Ces associations comprennent des agriculteurs de premier plan et des dirigeants locaux, un ensemble d'hommes et de femmes sélectionnés et formés par l'Autorité de gestion des ressources en eau et par les chefs locaux. Leur principale mission consiste à assurer la gestion locale des ressources en eau : éviter les empiètements et les détournements d'eau non autorisés, protéger les sources et les berges des cours d'eau et promouvoir une meilleure gestion des zones tampons. Les associations s'étant constituées en société, elles bénéficient d'une protection juridique qui leur permet d'entreprendre diverses activités – création de pépinières, aménagement de barrages de sable, de barrages souterrains et de stockage local, de terrasses et promotion de la collecte de l'eau à partir des toits.

### Encadré 3: Optimiser l'humidité du sol dans les systèmes Fanya juu

L'humidité du sol des Fanya juu a été étudiée par Muharika et al. (2010). On a voulu évaluer l'impact des systèmes de terrasses en gradins sur l'humidité du sol contenue dans la zone des racines située autour de la structure. Pour ce faire, on a installé dans le bassin de Makanya des tubes sur des sites en pente douce et en pente abrupte (Figure 4).

Le tube A représente l'humidité du sol dans la partie « contrôlée », car aucun Fanya juu n'a été construit en amont. Le tube B mesure le niveau d'humidité, et donc l'impact, de la terrasse avec tranchée. Le tube C évalue le niveau d'humidité dans la rhizosphère dans la partie centrale du Fanya juu, alors que l'impact près de la diguette est mesuré par le tube D. L'observation a mis en évidence les points suivants :

- Les niveaux d'humidité dans la rhizosphère autour des diguettes et des tranchées sont supérieurs à ceux enregistrés à une certaine distance. Au début de la saison des pluies, en particulier, dans les zones en pente douce (grandes distances entre les diguettes), le taux d'humidité était d'environ 17 % autour des Fanya juu et de 12 % dans la zone centrale des structures et en amont. Dans les périodes de sécheresse, le niveau d'humidité autour des Fanya juu était de 3 % supérieur à celui des autres sites.
- Dans les zones à pente abrupte, on a généralement enregistré des niveaux d'humidité inférieurs. Néanmoins, ces taux étaient comme précédemment supérieurs de 3 à 5 %. La distribution de l'humidité est essentielle car les cultures peuvent rencontrer des zones de tension hydrique dans certaines parties des champs.
- Afin d'optimiser le taux d'humidité, la distance entre les Fanya juu doit être inférieure (inférieure à la distance recommandée pour la conservation des sols) afin d'élargir le potentiel hydraulique de ces structures. Sur les pentes abruptes, en particulier en cas de sols minces, l'eau des tranchées draine plus d'écoulement latéral que si l'on ajoute de l'humidité à la rhizosphère.
- Un autre élément majeur de la conclusion de l'étude indique que, sur les deux sites comportant des Fanya juu, plus de 50 % de l'eau captée – correspondant au taux de percolation profonde – ne bénéficie pas à l'usage local. Cette perte laisse la place à d'autres structures de conservation locale de l'eau, comme les micro-barrages, en vue d'améliorer la retenue de l'eau dans la zone.

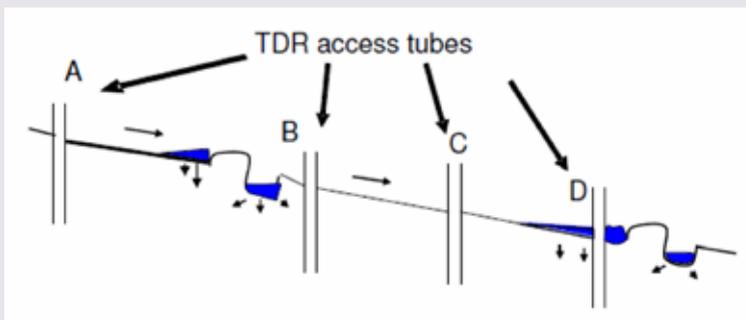


Figure 4: Placement des tubes TDR le long de la pente (Source : WOCAT, 2007).

ont la possibilité d'introduire de nouvelles cultures et de nouvelles variétés de plantes. Les Fanya juu les aident également lors des épisodes de sécheresse. Les rendements augmentent en général de 50 % (PNUE, 2000). De surcroît, ils peuvent cultiver des plantes le long des tranchées : papayes, bananes et fourrages. Les Fanya juu protègent contre l'érosion et sont, parmi tous les systèmes de conservation de l'eau dans le sol, celui qui implique le moins de pertes. Les estimations faites dans le cadre d'une étude sur Kwalei (Tanzanie) indiquent que les pertes dues à ces systèmes sont de 2,7 tonnes/ha pour les deux saisons. On peut comparer ces chiffres à ceux observés dans les zones non protégées (pertes annuelles estimées à 25 tonnes/ha), dans les zones comprenant des bandes de graminées (pertes de 15 t/ha) et dans les terrasses en gradins (6 t/ha). Les Fanya juu représentent donc clairement un investissement économique favorisant la production agricole, en particulier dans les zones où les terrains ne sont pas trop abrupts ou instables.

## Références

- Critchley, W. 1991. Looking after our land – Soil and water conservation in dryland Africa. Oxford: Oxfam.
- Herweg, K. and Ludi, E. 1999. The performance of selected soil and water conservation measures – case studies from Ethiopia and Eritrea. CATENA, 36 (1-2), pp. 99-114.
- Hudson, 1988. Fanya Yuu terrace able to develop in less than 7 years.
- Infonet-biovision. 2010. An introduction to soil conservation measures. [Online] Available at: <http://www.infonet-biovision.org/default/ct/265/soilManagement> [Accessed 23 March 2011].
- IIED (2011). Climate Change Adaptation technology: Fanya Juu Terraces. [online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/1786-climate-change-adaptation-technology-fanya-juu-terraces>. [Accessed 23 August 2011].
- IWMI. 2006. Fanya juu – Overview of technologies. [Online] Available at: <http://westafrica2.iwmi.org/projects/Adoption%20Technology/RainWaterHarvesting/50-Fanya%20juu.htm> [Accessed 23 March 2011].
- IWSD. (no date). Sourcebook of alternative technologies for freshwater augmentation in Africa. [Online] Available at: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-8a/index.asp#1> [Accessed 23 March 2011].
- Kiome, R.M. and Stocking, M. 1995. Rationality of farmer perception of soil erosion: The effectiveness of soil conservation in semi-arid Kenya. Global Environmental Change, 5 (4), pp. 281-295.
- Makurira, H., Savenije, H.H.G. and Uhlenbrook, S. 2010. Modelling field scale water partitioning using on-site observations in sub-Saharan rainfed agriculture. Hydrology and Earth System Sciences, 14, pp. 627-638.
- Motsi, KE., Chuma, E. and Mukamuri, B.B. 2003. Rainwater harvesting for sustainable agriculture in communal lands of Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, 29 (15-18), pp 1069-1073.
- Tenge, A.J. Graaff, J. de and Hella, J.P. 2005. Financial efficiency of major soil and water conservation

measures in West Usambara highlands, Tanzania. *Applied Geography*, 25 (4), pp. 348-366.

WOCAT. 2007. World Overview of Conservation Approaches and Technologies. [Online] Available at: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wocat/wqtsum2.asp?questid=KENo5> [Accessed 23 March 2011].

ZFU AGRITEX. (no date). A guide for farmers on good land husbandry – Alternative soil and water conservation Ideas. [Online] Available at: <http://www.uz.ac.zw/agriculture/cropscience/CD/gff/13%20More%20soil%20and%20water%20conservation.pdf> [Accessed 23 March 2011].

## 3.8. Maximiser la recharge, barrages de retenue en cascade



### Yémen

#### Introduction

Le Yémen est l'un des cinq pays les plus soumis à des stress hydriques, le bassin de sa capitale, Sanaa, constituant la zone la plus exposée. Toutefois, le Yémen est également un pays qui a une extraordinaire histoire en matière d'innovations concernant la gestion de l'eau. L'une de ces innovations est la construction de barrages de retenue en cascades dans les oueds, ces rivières éphémères. Les barrages ralentissent l'écoulement à court terme des oueds et maximisent la recharge. Cela permet la culture de raisins à haute valeur ajoutée dans une région dépendant principalement de courtes crues.



Figure 1: Culture de raisins à haute valeur ajoutée, Oued de Qaradha, Yémen (Crédit photo: MetaMeta).

## Les barrages de retenue en cascade

L'oued Qaradha et l'oued Bahman sont des affluents de l'oued A'ssir, situé à 30 km au nord-est de Sanaa. Comme partout dans le bassin de Sanaa, le climat y est semi-aride. La moyenne des précipitations annuelles est de 250 mm, mais l'évaporation est de 2 500 mm. Le nombre de jours de précipitations est limité – 6 à 25 jours répartis principalement entre mars et août. Dans le bassin sec, elles se transforment en courtes inondations (quelques heures) qui constituent la principale source d'eau.

Les crues intermittentes étaient dans le passé, soit détournées directement sur les terres (méthode qualifiée d'« irrigation par épandage »), soit stockées sur place dans des réservoirs de surface. Au cours du temps, l'agriculture est devenue très dépendante de l'irrigation basée sur les eaux souterraines, mais la consommation excède de loin la recharge des nappes. Pour le bassin de Sanaa, on estime que le rapport est de 1 à 4. En raison du développement de l'irrigation et de la rapide croissance de Sanaa, on estime qu'au cours des quinze dernières années, le niveau des nappes souterraines de l'aquifère gréseux de Tawilah a baissé de cent quarante et un mètres. Les oueds Qaradha et Bahman sont connus pour être une région de culture du raisin et de production de raisins de haute qualité et à forte valeur ajoutée. Compte tenu de la sécheresse de la région, cela semble être un miracle – des treillis de vigne s'étendent d'une montagne à l'autre sur les deux berges des oueds relativement étroits.

Dans le passé, l'irrigation des vignes se faisait par épandage des brèves crues, un complément d'irrigation étant effectué à partir de puits de surface à ciel ouvert situés à proximité des berges des cours d'eau. Au fil des années, cependant, les puits s'asséchèrent, devinrent saisonniers, et nombre d'entre eux furent abandonnés. La principale source d'approvisionnement en eau devint alors celle fournie par de profonds puits tubés, ce qui résulta à une baisse du niveau des eaux de trois cent cinquante mètres et à une diminution de plus de moitié de la productivité des puits. On construisit alors des barrages de retenue en cascade sur de nombreux sites, notamment dans les oueds Qaradha et Bahman, avec le soutien du Programme de gestion des eaux du bassin de Sanaa. Les barrages sont constitués d'une série de barrières peu élevées (1 à 3 m de haut) construites à l'aide de structures pierreuses. Vingt-neuf petits ouvrages ont été construits dans l'oued Bahman et soixante-quinze dans l'oued Qaradha. Les barrages de retenue sont complétés par un mur de protection le long du lit de la rivière, également fait par blocage.

Les barrages en cascade répondent à deux exigences : 1) réduire la vitesse de l'écoulement dans l'oued ; 2) capter l'eau en surplus pendant les courtes crues. Ces barrages détournent l'eau vers des canaux destinés à l'irrigation par épandage sur les deux côtés du lit de l'oued et augmentent la recharge des nappes peu profondes. Dans des environnements semi-arides, la recharge est plus efficace si elle se fait dans le lit des cours d'eau, où les alluvions recouvrent le grès, et les barrages en cascade contribuent à optimiser l'effet de la recharge.

## Coûts et bénéfices

Une étude a été réalisée pour mesurer l'efficacité de la recharge dans la région en fonction du système de collecte d'eau utilisé (barrages de retenue en cascade et autres barrages de stockage en plein air de diverses dimensions). Utilisant la méthode du bilan hydraulique et un appareil de contrôle du débit, l'évaluation a permis de conclure que les barrages de retenue en cascade

présentaient une efficacité de recharge de 94 %. Ce résultat est meilleur que celui des petits barrages de stockage et incontestablement meilleur que celui des barrages de taille moyenne. Les barrages en cascade constituent une amélioration majeure par rapport aux barrages de stockage en surface, car :

- La recharge dans le lit des cours d'eau est plus efficace. Le temps disponible pour la recharge et la superficie d'épandage sont accrus, car l'écoulement des eaux de crue est ralenti.
- Contrairement au cas des barrages de stockage – où les sédiments s'accumulent au bas du réservoir et empêchent la recharge – la sédimentation n'est ici pas un problème, les sédiments étant chassés par les crues ultérieures
- Les barrages de retenue ne perturbent pas le système de distribution traditionnelle de l'eau. Les agriculteurs situés le long de l'oued peuvent continuer d'utiliser l'eau pour procéder à une irrigation par épandage.

La valeur de la recharge additionnelle due aux barrages en cascade dans l'oued Bahman était trois fois supérieure à celle du barrage de stockage en surface (fait en maçonnerie) de Beryan. Le coût de construction représentait seulement un cinquième du coût de construction du barrage poids. Des calculs ont montré que le coût d'un investissement concernant le stockage de l'eau par unité de barrage de retenue est de 1,26 dollar US par m<sup>3</sup>. Il est de l'ordre de 0,10 dollar US par m<sup>3</sup> pour l'eau rechargée (en tablant sur une durée de vie de vingt ans).

Les agriculteurs de la région ont observé une amélioration sensible de la disponibilité en eau dans les puits en plein air situés près du lit de la rivière et une baisse du niveau de l'eau dans les puits tubés. Fadhel M. Manea, président de l'association des usagers de l'eau de Qaradha, a souligné que « l'un des effets positifs des barrages de retenue est le détournement des eaux de ruissellement qui servent pour l'irrigation par épandage des vignobles sur les deux berges de l'oued. »

### Encadré 1 : Concevoir des barrages de retenue en cascade dans les oueds

L'emplacement et la hauteur des barrages de retenue sont gouvernés respectivement par le gradient du lit et la profondeur du débouché, tandis que les dimensions de la coupe transversale dépendent du débit de pointe attendu. Le dessin doit préserver une vitesse appropriée de l'écoulement pour s'assurer que les sédiments sont éliminés au niveau des barrages en amont, fournissant de l'eau claire à l'aval, qui donc s'infiltrera plus facilement. Les critères de conception suivants ont été adoptés pour l'oued Bahman :

- La coupe transversale du barrage présente des parois latérales en pente douce afin d'améliorer l'accès au lit de l'oued et de simplifier la construction.
- On préfère une clé de fondation pour améliorer la stabilité du barrage face à tout risque de glissement et pour améliorer sa résistance à la pression hydraulique.
- Pour des raisons de formation, le premier barrage d'une série de barrages de retenue doit être construit à l'extrémité la plus élevée de la vallée. Le premier barrage sert de référence pour calculer la distance le séparant du deuxième barrage. On considère empiriquement que le haut du barrage le plus bas doit correspondre à la base du barrage supérieur.
- Pour prendre en compte les puits creusés autour du site du barrage de retenue, l'élévation de la crête du barrage, et par conséquent la hauteur du barrage, est placée au même niveau que l'élévation supérieure des puits, ce afin que le réservoir de l'amont soit disposé de telle sorte qu'il puisse atteindre les puits, maximisant ainsi la capacité de recharge du barrage.
- La taille des vides entre les blocs rocheux de l'ouvrage est choisie de telle sorte que les sédiments transportés par la première crue pénètrent dans le barrage et se déposent à l'intérieur, améliorant ainsi la stabilité et l'étanchéité de l'ouvrage.
- Le site du barrage de retenue ne doit pas entraîner d'inondations derrière le barrage ou créer de larges mares. Lorsqu'il se produit des inondations par reflux, il convient de construire des remblais de protection.
- Un mur de protection est ajouté le long de l'oued.

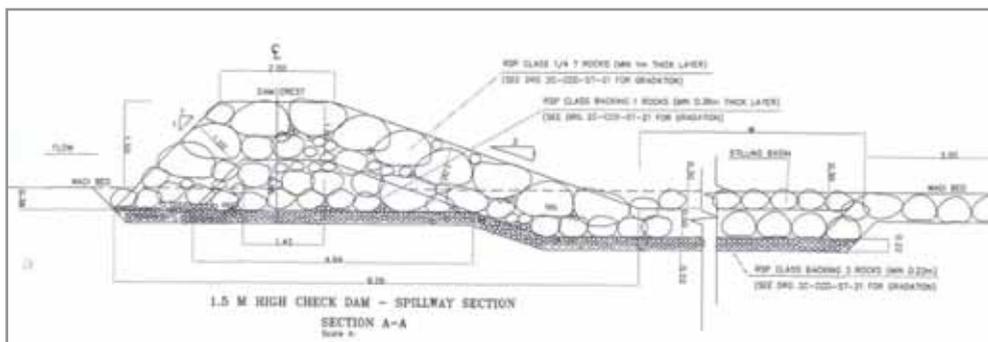


Figure 2: Caractéristiques d'une coupe transversale d'un barrage de retenue de 1,5 m de haut dans l'oued Qaradha, Yémen

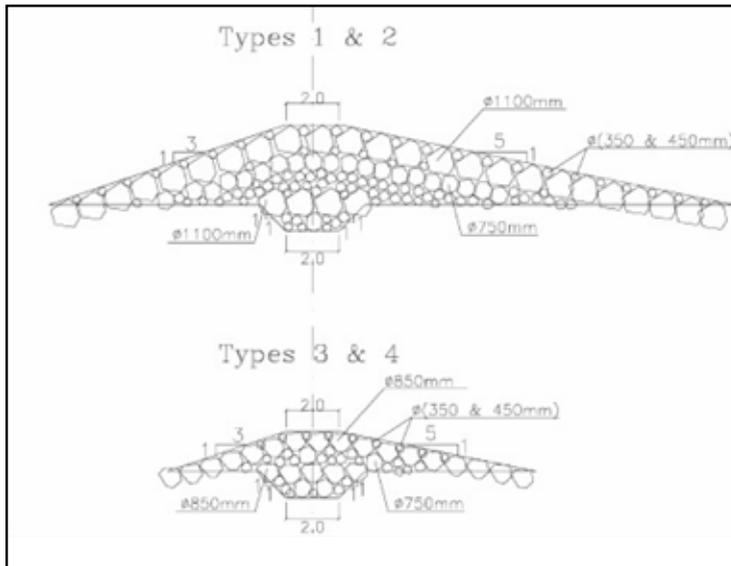


Figure 3: Coupes transversales types de barrages de retenue de 3 m et 1,5 m de haut dans l'oued Bahman, Yémen.

### Encadré 2: les barrages de retenue

#### Barrages de retenue dans l'oued Qaradha.

Nombre de barrages: 75.  
 Longueur: varie de 40 m à 100 m.  
 Hauteur du barrage en cascade: varie de 1 m à 1,5 m.  
 Largeur de la crête: 2 m.  
 Talus amont: 1V/1H.  
 Talus aval: 1V/3H  
 Coût total du contrat: 648 000 dollars US.



#### Barrages de retenue dans l'oued Bahman

Nombre de barrages: 29.  
 Longueur: varie de 7 m à 57 m.  
 Hauteur du barrage en cascade: varie de 1 m à 1,5 m.  
 Largeur de la crête: 2 m.  
 Talus amont: 1V : 1H.  
 Talus aval: 1V : 3H.  
 Coût total du contrat: 182 000 dollars US.



## Références

Alderwish, A. M. and Alderwish, W. I. 2009. Integrated Water Management for Small Catchments in Arid Mountainous Region-Yemen. Sana'a: Sana'a Basin Water Management Project. [Online] Available at: [http://gscp.gov.ye/BS/Summary\\_report\\_dams\\_recharge\\_final.pdf](http://gscp.gov.ye/BS/Summary_report_dams_recharge_final.pdf) [Accessed 14 August 2011].

Japan International Cooperation Agency (JICA). 2007. The Study for the Water Resources Management and Rural Water Supply Improvement in the Republic of Yemen, Water Resources Management Action Plan for Sana'a Basin, Final Report. [Online] Available at: [http://gscp.gov.ye/BS/JICA\\_summary\\_report.pdf](http://gscp.gov.ye/BS/JICA_summary_report.pdf) [Accessed 14 August 2011].

MetaMeta (2011). Beni Hushaish-Effective, innovative groundwater recharge. [Online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/2027-beni-hushaish-effective-innovative-groundwater-recharge-english> [accessed on 24 August 2011].

Practical Action. 2005. Water Harvesting in Sudan. Warwickshire: The Schumacher Centre for Technology and Development.

Sana'a Basin Water Management Project. 2010. Assessment of Water Resources Potential of the Sana'a Basin, Strategic Options for the Sustainable Development and Management of the Basin's Water Resources, Final Report. Sana'a: Sana'a Basin Water Management Project.

Sana'a Basin Water Management Project. 2010. Sana'a Basin Integrated Water Resources, Management Action Oriented Policy Paper, Assessment of Phase I. Sana'a: Sana'a Basin Water Management Project. [Online] Available at: [http://gscp.gov.ye/BS/AOPP\\_Final\\_Report.pdf](http://gscp.gov.ye/BS/AOPP_Final_Report.pdf) [Accessed 14 August 2011].

Sana'a Basin Water Management Project. 2006. Bahman Check Dams Design Report. Muscatine: Stanley Consultants, Inc.

## 3.9. Barrages de rétention des eaux souterraines

### Maharashtra, Inde

#### Introduction

Les barrages de rétention, appelés de type Kolhapur, ont été construits par le Département du développement rural et de la conservation de l'eau du gouvernement du Maharashtra (Inde) dans le cadre du Programme mineur d'irrigation (MIP-M). Les ouvrages d'irrigation y sont uniques. Les barrages ne détournent pas l'eau, mais plutôt la retiennent et dirigent l'écoulement provenant du sous-sol dans les cours d'eau, ce qui permet de renouveler l'eau des puits en amont du barrage. Les bénéfices recueillis sont immenses, car ces ouvrages assurent un approvisionnement des nappes souterraines au moyen des puits et améliorent l'humidité du sol. Ils contribuent ainsi à des rendements bien supérieurs, rendent possible l'utilisation d'une plus grande variété de cultures et bénéficient d'une plus grande intensité de culture. Ils ne posent pas les problèmes opérationnels que connaissent d'autres systèmes d'irrigation, car il n'y a aucun canal à entretenir. On enregistre au Maharashtra 131 barrages de rétention, qui sont gérés par le Département du développement rural et de la conservation de l'eau. Un barrage type concerne environ 100 à 250 hectares. Il existe par ailleurs des milliers de petits seuils de retenue placés sous l'autorité des autorités locales.

#### Barrage (KTW) de Bolegaon

En général, le barrage est construit en travers d'une rivière pour stocker l'eau dans son lit entre ses berges à l'amont du barrage et dans l'aquifère. À ces fins, on installe un certain nombre de piliers au



Figure 1: Barrage de Bolegaon côté aval (Crédit photo: Olaf Verheijen)



Figures 2 et 3: Piliers avec les hausses et le pont installés (en haut). Zone du réservoir en amont du barrage (en bas) (Crédit photo: Olaf Verheijen). KTW (below) (Photo credit: Olaf Verheijen)

sommet du barrage.

Entre ces piliers, on place des hausses – connues sous le nom d'« aiguilles » - à la fin de la mousson, afin de stocker l'eau s'écoulant dans la rivière. Ces hausses sont ensuite retirées en juin, au début de la mousson, pour que les eaux s'écoulant dans la rivière puissent franchir librement le barrage. On construit en général un pont au-dessus des piliers pour faciliter l'installation et le retrait des hausses, et pour permettre la circulation d'une rive à l'autre.

Un exemple de barrage de type Kolhapur (KT) est le barrage de Bolegaon situé à Gangapur Taluka, dans le district d'Aurangabad. Le climat est ici typique de celui de l'Inde méridionale : sec et dominé par une forte mousson de sud-ouest de juin à octobre. Les précipitations annuelles moyennes sont de 710 mm, la plupart concentrées dans

la période de mousson. En août, en pleine saison de mousson, la région connaît des épisodes de sécheresse pouvant durer jusqu'à deux semaines et susceptibles de détériorer les cultures pluviales. Une population d'agriculteurs de 2 700 personnes environ dépend du barrage, pour la plupart de petits exploitants possédant moins de 2 hectares.

La construction du barrage de Bolegaon sur la Shivna, un affluent de la rivière Godavari, a eu lieu en 2004-2005. Le barrage est long de 92 m et sa hauteur maximale atteint 4,5 m. Il comprend 31 piliers construits à son sommet. Les hausses en métal sont placées dans les ouvertures entre les piliers vers la fin août pour pouvoir capter les eaux de la mousson. Avec un débit d'au moins 6,0 m<sup>3</sup>/s, il ne faut pas plus de deux jours pour que la partie située à l'amont du barrage se remplisse. La capacité de stockage est de 1,04 million de mètres cubes.

## Coûts

Le coût total de la construction du barrage s'est élevé à 425 000 dollars US. La zone d'irrigation étant de 159 hectares, ce montant équivaut donc à un coût de 2 660 dollars US par hectare. L'un des

principaux avantages du barrage est dû au fait qu'aucune acquisition de terres n'est nécessaire pour assurer le stockage de l'eau, dans la mesure où l'on utilise le lit existant et l'aquifère à ces fins. Au départ, on a proposé aux agriculteurs de Bolegaon d'installer trois ou quatre systèmes d'irrigation avec élévation d'eau pour pomper l'eau stockée et l'apporter dans les champs situés sur la rive gauche de la rivière Shivna. Ceux-ci ont répondu que cela n'était pas nécessaire, car les pertes dues à l'infiltration de l'eau stockée permettraient d'obtenir une recharge suffisante des puits existants.

Le projet a été fondé en grande partie sur la participation efficace des agriculteurs concernés dans la planification, la conception, la construction et la gestion du schéma d'irrigation. Une fois réalisé, la responsabilité du fonctionnement et de la maintenance du nouveau barrage fut formellement transférée aux agriculteurs. À cette fin, une association d'usagers de l'eau (WUA) fut créée et enregistrée. Celle-ci reprit en 2005 la responsabilité du barrage.

Pour financer le fonctionnement et la maintenance du barrage, l'association d'usagers collecte chaque année un montant correspondant aux frais de gestion liés à l'irrigation de tous les détenteurs de parcelles dont les terres sont situées dans le périmètre d'irrigation. Pour la saison 2009-2010, l'association a fixé ce montant à 1 000 INR (soit 22 dollars US) par hectare pour la canne à sucre et à 750 INR par hectare pour les autres cultures. Pour l'année financière 2010/2011, l'association d'usagers de l'eau (WUA) a proposé de faire passer ce montant à 3 500 INR (soit 77 dollars US) par hectare afin de financer le remplacement des joints d'étanchéité en caoutchouc des hausses. Une source additionnelle de revenus est constituée par la location des droits de pêche moyennant un tarif de 15 000 INR (330 dollars US) par an.

Jusqu'à présent, les dépenses de maintenance ont été modestes : 63 000 INR (1 386 dollars US) durant l'année financière 2008/2009 et 53 000 INR en 2009/2010, principalement consacrées au remplacement des boulons des hausses. Un des principaux avantages de ce système est lié au fait que, contrairement à ce qui se passe avec les systèmes traditionnels d'irrigation par diversion, les problèmes d'envasement en amont du barrage sont ici inexistants. Lorsque les hausses sont retirées du barrage avant le début de la mousson, les premières crues lavent tous les éléments limoneux déposés durant la période de stockage de l'eau.

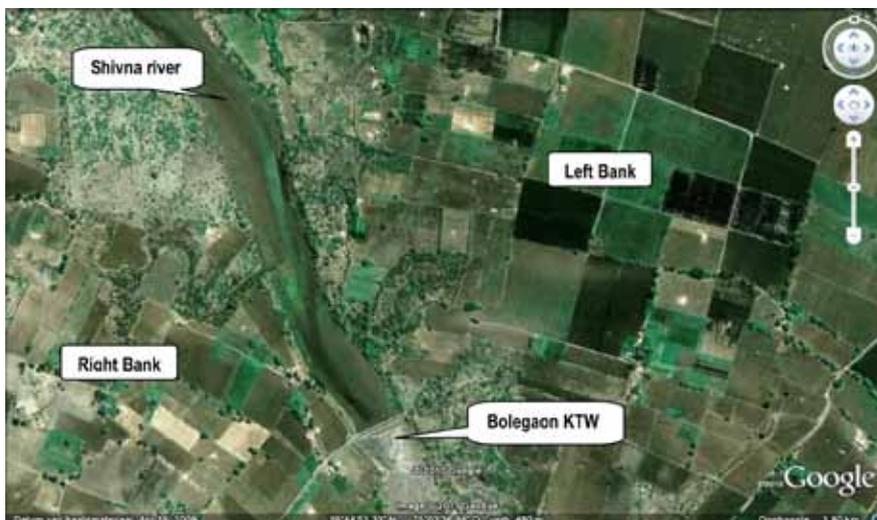


Figure 4: Satellite image of the location of Bolegaon KTW. (Source: Google Earth)

### Encadré 1 L'équilibre hydrographique à Bolegaon

Le bassin hydrographique situé en amont du site du barrage est de 2 035 km<sup>2</sup>. Le rendement annuel de cette zone est d'environ 208 millions de mètres cubes. On a déjà alloué 152 Mm<sup>3</sup> à 40 plans d'irrigation existants ou proposés en amont du barrage, de telle sorte qu'un volume net de 46 Mm<sup>3</sup> reste disponible sur le site du barrage. Le barrage de Bolegaon ayant une capacité de stockage de 1,04 Mm<sup>3</sup>, les usagers de l'eau en aval ne sont pas frappés, dans la mesure où plus de 40 Mm<sup>3</sup> continuent d'être disponibles pour l'utilisation en aval.

Il existe sur le site trois aquifères alluvionnaires dont la profondeur atteint vingt mètres. L'épaisseur de chaque aquifère est comprise entre 1,5 et 7 m. Ces aquifères peu profonds sont largement remplis à la fin de la mousson grâce à la recharge naturelle. Cela permet d'extraire 4 000 m<sup>3</sup> d'eau par hectare pour les cultures d'hiver (saison sèche). Cela représente environ 80 % des besoins moyens en irrigation avec un taux d'efficacité de distribution de 65 %. Les 20 % restants sont satisfaits grâce à la retenue d'eau supplémentaire fournie par le barrage.

Bien que le barrage soit construit sur la couche rocheuse, le lit de la rivière et ses rives situées en amont sont composés de sols sablonneux et perméables. En cas de capacité de stockage maximum, le taux d'évaporation est estimé à plus de 6 000 m<sup>3</sup>, devenant nul lorsque le barrage est vide et que la zone de retenue diminue (Tableau 1).

Les estimations faites indiquent que 20 % environ du stockage total d'environ 1Mm<sup>3</sup> rechargent les aquifères par suintement entre la mi-septembre et la mi-février. Cela est suffisant pour irriguer 109 ha de cultures de printemps avec les eaux souterraines, car cela permet de combler le déficit de 20 % qui n'est pas disponible dans les aquifères par recharge naturelle. De plus, l'eau stockée est tirée par sept puits situés dans le lit de la rivière et ayant une capacité suffisante pour irriguer environ 50 ha. Le reste de l'eau est perdu par évaporation, fuites et percolation en profondeur.

Tableau 1: L'évaporation est fonction de la profondeur du stockage

Profondeur de l'eau sur le site du barrage (m)	Stockage (en m <sup>3</sup> )	Superficie (en m <sup>2</sup> )	Longueur du bassin (en m)	Zone d'évaporation (en m <sup>2</sup> )	Taux d'évaporation En m <sup>3</sup> /jour
0,5	38,000	76,000	50	25	1
1.0	111,300	111,300	444	444	39
1.5	184,600	123,067	888	1,331	175
2.0	257,900	128,950	1,331	2,663	466
2.5	331,200	132,480	1,775	4,438	971
3.0	508,925	169,642	2,219	6,656	1,747
3.5	686,650	196,186	2,663	9,319	2,854
4.0	864,375	216,094	3,106	12,425	4,349
4.5	1,042,100	231,578	3,600	16,200	6,379

## Bénéfices

Le périmètre irrigué du barrage de Bolegaon est situé sur les deux rives (surtout sur la rive gauche) de la rivière Shivna, s'étendant sur 2,5 km en amont et 1 km en aval du site du barrage, et sur une largeur de 300 m environ. On estime que 20 % environ du stockage total d'environ 1 Mm<sup>3</sup> recharge les aquifères par infiltration entre la mi-septembre et la mi-février. Cela est suffisant pour assurer une agriculture irriguée de 109 ha de cultures d'hiver à partir des nappes souterraines, car cela comble le déficit de 20 % qui n'est pas disponible dans les aquifères par la recharge naturelle. De plus, l'eau est tirée par sept puits récemment installés dans le lit de la rivière et dont la capacité est suffisante pour irriguer environ 50 hectares. Ces puits entrent en fonction dès que le lit de la rivière s'assèche. Le reste de l'eau est perdu par évaporation, fuites et percolation en profondeur. Au total, 152 ménages possèdent des parcelles dans ces zones. D'après l'inventaire qui a été fait, 45 puits creusés et 9 puits tubés ont été installés dans le périmètre d'irrigation avant la construction du barrage. Les puits sont groupés le long des rives de la rivière et selon une « bande » de terre



définie au-delà de la rivière et dotés d'une connexion pour assurer la recharge à partir de la rivière. La majorité des agriculteurs utilisent des pompes (électriques) de 5,0 à 6,0 HP pour puiser l'eau souterraine des puits.

Avant la construction du barrage, les puits avaient de l'eau pendant neuf mois de l'année (jusqu'en février/mars), et étaient donc inutilisables pendant la majeure partie de la saison agricole. Depuis sa construction, tous les puits – à l'exception de trois sur la rive droite – ont de l'eau toute l'année. Le seul obstacle à leur fonctionnement est le fait que la disponibilité en courant est limitée à 8 heures par jour.

L'association d'usagers de l'eau (WUA) a adopté une politique qui interdit l'installation de nouveaux puits dans le périmètre irrigué, afin d'éviter l'épuisement des aquifères et l'assèchement des puits

Figures 5 et 6: Puits creusés (en haut) et puits tubés (en bas) dans le périmètre irrigué de la rive gauche, Inde (Crédit photo: Olaf Verheijen).credit: Olaf Verheijen

existants. Pour poursuivre l'amélioration d'un usage efficace de l'eau, vingt agriculteurs ont installé des arroseurs sur 50 ha et des installations de goutte-à-goutte sur 10 ha dans le périmètre irrigué.

## Transformer les vies

L'impact agronomique et socio-économique de la construction du barrage de Bolegaon, combiné au développement de l'association d'usagers et à la mise en œuvre du programme de développement agricole, a été très important. Les principales réalisations sont brièvement décrites ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2 : Impact de la construction du barrage de Bolegaon, du développement d'une association d'usagers et de la mise en œuvre du programme de développement de l'agriculture

Cultures	Système de cultures avant le projet		Système de cultures après le projet			
	2002/2003		2009/2010		2010/2011	
	Surface (ha)	% ICA	Surface (ha)	% ICA	Surface (ha)	% ICA
<b>Kharif</b>						
Millet	68	43	41	26	10	6
Maïs	16	10	7	4	20	13
Légumineuses	-	-	26	16	-	-
Légumes	-	-	-	-	2	1
<b>Rabi</b>						
Blé	-	-	24	15	20	13
Sorgho	24	15	12	8	6	4
Pois Chiches	33	21	27	17	1	1
Tournesol	10	6	-	-	-	-
Maïs	-	-	6	4	-	-
Légumes	-	-	12	8	2	1
<b>Deux saisons</b>						
Coton	48	30	48	30	98	62
Piment	-	-	13	8	2	1
Canne à sucre	-	-	11	7	27	17
Horticulture	-	-	6	4	-	-
Gingembre	-	-	-	-	2	1
<b>Total</b>	<b>199</b>	<b>125</b>	<b>233</b>	<b>147</b>	<b>188</b>	<b>120</b>



Figures 7 et 8: Culture du coton et de la canne à sucre (à gauche), et du gingembre (à droite) dans le périmètre irrigué. (Crédit photo: Olaf Verheijen).

D'abord, le système de culture a considérablement changé, du fait d'une sécurité d'approvisionnement en eaux souterraines accrue et d'une humidité du sol garantie. Le nombre de cultures a augmenté et l'intensité des cultures a progressé, de même que les rendements.

Avant la construction du barrage, les agriculteurs cultivaient principalement des cultures sèches de base. Cinq ans après sa réalisation, un plus large éventail de cultures sont cultivées. Parmi elles, des cultures commerciales : légumes, piments, canne à sucre et fruits. Durant la saison d'hiver 2010/11, un certain nombre d'agriculteurs ont commencé à cultiver le gingembre, et la zone de culture du coton est passée de 48 à 98 hectares.

En près de dix ans, l'intensité des cultures a progressé de 125 % durant la saison 2002/03 à 147 % durant la saison 2009/10. Elle est toutefois repassée à 120 % en 2010/2011 en raison de l'introduction de deux cultures supplémentaires, et surtout de la présence de deux cultures, canne à sucre et coton, ayant une longue saison végétative.

Grâce à une sécurité d'approvisionnement accrue fournie par les nappes souterraines, et à une meilleure humidité du sol, grâce aussi au programme de développement de l'agriculture, les rendements ont augmenté de manière significative. Par exemple, la production de maïs a augmenté de 3,0 t/ha durant la saison 2003/2004 à 5,8 t/ha en 2009/2010. Pendant la même période, la production de coton est passée de 0,5-1,00 t/ha à 2,5 t/ha.

Selon les données recueillies lors de l'évaluation de l'impact agro-économique réalisée en 2010, le rendement net a augmenté de 6 921 INR (soit 157 dollars US) par hectare en 2003-2004 à 36 401 INR par hectare en 2009-2010<sup>1</sup>. Autrement dit, le revenu des agriculteurs a été amélioré de 425 % et la période de récupération sur investissement a été réduite à moins de cinq ans. L'augmentation de la disponibilité en eau d'irrigation – qui permet d'assurer l'humidité des sols dans les puits durant la saison agricole grâce à la construction du barrage – est le facteur principal de cette hausse significative de revenus. Une telle disponibilité permet en effet de cultiver une plus grande superficie de terres irriguées et plus de cultures à haute valeur ajoutée et d'obtenir des rendements supérieurs pour les plantes cultivées.

1 Corrigé par le taux d'inflation en utilisant les indices déflateurs de la Banque Mondiale.

En plus de ces bénéfices constatés en termes de production, les impacts positifs suivants ont également été soulignés par l'Association des usagers de l'eau:

- 50 à 60 ménages sans terre sont employés en tant que journaliers tout au long de l'année. Par ailleurs, les niveaux de salaires des femmes ont progressé, passant de 30 INR à 150 INR par jour.
- Accès à une meilleure éducation, quinze étudiants étant inscrits dans une école anglophone.
- Meilleur accès aux soins de santé : un nombre plus important de ménages fréquentent l'hôpital de la ville d'Aurangabad plutôt que la clinique locale de Gangapur, et toutes les grossesses sont à présent surveillées par un personnel médical.
- Un nombre supérieur de familles ont les moyens de consommer du blé lors de leurs repas quotidiens.
- 25 à 30 ménages ont remplacé leurs maisons de terre par des habitations faites en brique et béton.
- Environ 100 ménages utilisent du GPL pour la cuisine au lieu de brûleurs kérosène, alors que la plupart des ménages ont acheté un téléviseur et des antennes paraboliques.
- Presque tous les ménages disposant de droits d'utilisation du sol dans le périmètre irrigué ont acheté une motocyclette au cours des cinq dernières années.
- 15 nouveaux tracteurs ont été achetés par des ménages ayant des terres irriguées dans le périmètre irrigué.
- Les dots ont augmenté et les mariages ont lieu dans une salle de mariage à la ville, et non dans le village.
- De nombreux ménages ont pu acheter des vaches et des buffles supplémentaires afin d'accroître leur production de produits laitiers.

## Références

Enquête de terrain réalisée par Olaf Verheijen.

## 3.10. Pâturage intensif contrôlé



### Prairies en zone de savane, Afrique

#### Introduction

Le pâturage du bétail est souvent mis en avant comme étant la cause principale de la perte de prairies en zone de savane. Le surpâturage, dit-on, est la cause de cette dégradation et menace de désertification les zones de savane. Pour renverser cette tendance et restaurer les prairies, certains plaident en faveur d'une réduction des troupeaux et de l'interdiction de certaines zones. Des experts, tels que Allan Savory, sont d'un avis diamétralement opposé. Ils affirment que c'est au contraire l'absence de bétail ou d'animaux sauvages herbivores qui, du moins dans les zones de savane sèche, entraînerait une dégradation des terres. Lorsqu'elles ne sont ni broutées ni occasionnellement piétinées, les graminées vivaces disparaissent. Par conséquent, un pâturage planifié pourrait permettre de restaurer les pâturages et d'améliorer leur productivité tout en faisant progresser la biodiversité et la séquestration du carbone. Il existe aujourd'hui de nombreuses expériences de mise en œuvre réussie d'une telle « approche globale » de gestion.

Lorsque l'on fait brouter dans la savane de grands troupeaux de bétail sur de petites parcelles, leur piétinement permet de casser la croûte du sol. Le sol est donc aéré, permettant l'infiltration d'une quantité supérieure d'eau lorsqu'il pleut. Le piétinement permet également de fouler les feuilles que les animaux n'ont pas broutées, formant ainsi un paillage naturel sur le sol. En compactant le sol,

#### Encadré 1: Extrait d'un entretien avec Jody Butterfield, auteur du « Holistic Management Handbook - Healthy Land, Healthy Profits ».

*« Nous dissuadons énergiquement l'emploi du feu, en raison des polluants qu'il dégage dans l'atmosphère (lesquels, à leur tour, amplifient le changement climatique), et si le surpâturage est un problème, je considère que le « repos prolongé » est en fait le problème majeur des prairies de savane. En effet, trop de parcelles demeurent vierges, trop de plantes ne sont jamais broutées. Il en résulte un espacement croissant entre les plants, le sol nu augmente, tout comme l'évaporation à la surface du sol, les ruissellements dus aux eaux de pluie et les « épisodes de sécheresse ». Nous recommandons donc une planification globale du pâturage, qui définit les mouvements de troupeaux en fonction des temps de récupération des plantes, pour que les animaux ne restent pas trop longtemps sur une même prairie, et n'y retournent pas trop tôt (pas avant que les plantes n'aient recréé des feuilles et rétabli des racines sacrifiées à la suite de la première période de pâturage). Nous tentons de maximiser la taille du troupeau et sa densité pour permettre un piétinement sur une plus grande surface. Cela permettra de favoriser l'aération et l'infiltration du sol. Les plantes ignorées par les animaux seront piétinées et formeront un paillage naturel. Les points de croissance pourront donc être exposés au soleil pendant la saison de pâturage suivante (les graminées vivaces qui n'ont été ni broutées ni piétinées pendant trop longtemps) et ces plantes demeureront présentes pendant des années dans des environnements humides, favorisant progressivement une nouvelle croissance. »*



Figure 1: Troupeau de bovins et de chèvres de Dimbangombe que l'on fait pâturer en groupe serré sur les rives de la rivière. Notez que la garde du troupeau se fait principalement en contrôlant la vitesse de progression à l'avant au fur et à mesure que les animaux broutent et piétinent le sol. (Crédit photo: CJ Hadley, RANGE magazine). move as they graze and trample. (Photo credit: CJ Hadley, RANGE magazine.)

ce processus favorise également le contact entre les semences et le sol. Enfin, le fumier et l'urine fournissent un engrais qui permet de nourrir les jeunes plants de graminées qui s'établissent dans cet environnement bonifié.

## Plus de bétail, plus d'herbe, plus d'eau

On recommande en général quatre méthodes pour assurer la santé des plantes vivaces : le fauchage, le brûlage, le repos des prairies et le pâturage. La première option, le fauchage, est impraticable dans la plupart des régions et demande une main d'œuvre trop importante. Les exigences économiques déconseillent cette solution, d'autant que les ressources nécessaires risquent de toute façon d'être insuffisantes. Le brûlage n'est pas non plus souhaitable. Il est actuellement utilisé sur une grande échelle dans la gestion des prairies africaines, notamment en raison du manque d'animaux. Plus de 800 millions d'hectares de prairies sont brûlés chaque année sur le seul continent africain, ajoutant d'énormes quantités de carbone dans l'atmosphère et asséchant le sol.

Le « repos » (absence de pâturage et de brûlage) est une solution que l'on a l'habitude de présenter comme permettant de restaurer les prairies pérennes. En cas de surpâturage, il peut dans un premier temps permettre un redémarrage de la croissance de la végétation. Toutefois, après quelques années, la croissance des graminées vivaces sera trop rapide et elles commencent à s'oxyder, ce dont témoigne leur couleur grise. En s'oxydant, les feuilles empêchent la lumière du soleil d'atteindre les points de croissance à la base des plantes, entraînant leur mort. Lorsque la surface du sol est laissée à l'abri des « coups de sabots », elle se ferme aux premières précipitations

et demeure étanche, de telle sorte qu'une très faible quantité d'eau peut s'infiltrer. Par ailleurs, l'eau qui y pénètre s'évapore très vite sur les terrains plats ou se transforme en ruissellements sur les reliefs en pente. Bien que les sols laissés en repos et le fourrage constituent des environnements en permanence humides, cette méthode détériore les sols situés dans des environnements semi-arides ayant une saison humide ou les sols friables.

La meilleure option consiste de loin à réexaminer le rôle du bétail dans la gestion des prairies. Les systèmes racinaires des graminées vivaces réagissent aux perturbations se produisant au-dessus du sol (pâturage et piétinement). Si le bétail broute les graminées vivaces (ou en l'occurrence les bisons, les buffles et d'autres animaux sauvages herbivores qui ont évolué conjointement sur les sols des prairies), le système racinaire réagit par un mécanisme de survie : les racines dépérissent, donnant ainsi l'énergie aux nouvelles pousses. Cependant, si l'animal qui a brouté la plante reste sur place, il est probable qu'il va entamer la nouvelle plante bien avant que ses racines aient eu le temps de se reconstituer, ce qui signifie que cette plante sera victime d'un « surpâturage ». Par contre, les graminées vivaces se trouvant dans des prairies correctement pâturées – ayant eu le temps de se reconstituer et de repousser – peuvent vivre plusieurs centaines d'années. Ce processus favorise à la fois la restauration du sol et la séquestration du carbone.

Lorsque le pâturage des prairies est bien géré, les terres concernées font office d'éponges, stockant l'humus et le carbone, tandis que les racines perforent le sol et l'ouvrent, ce qui augmente sa porosité et sa capacité d'infiltration. Ce processus est encore facilité par le piétinement de la surface du sol compact, ou de la croûte du sol, et des végétaux que les animaux n'ont pas broutés. Grâce à ce processus, l'eau pénètre dans les endroits où les plantes peuvent l'utiliser. Elle peut éventuellement s'écouler lentement dans les couches plus profondes, pour alimenter sources, rivières, trous de forage ou puits, augmentant ainsi le temps de séjour des eaux de pluie dans le bassin et prolongeant le cycle hydrologique – ou, selon le concept des 3 R, « la chaîne des usages ». Dans des régions semi-arides disposant d'une saison humide, l'effet positif est évident : l'on assiste à la création d'un écosystème plus humide, capable de favoriser plus de moyens de subsistance et une meilleure économie. Cet écosystème est plus favorable aux herbivores, car les graminées vivaces indigènes reverdissent plus tôt et restent vertes plus longtemps. Ce processus permet à son tour de nourrir les animaux pendant une plus longue période. Il s'avère aussi plus approprié que la solution privilégiant des graminées annuelles exotiques. Ces vivaces doivent pousser, fleurir, se semer et disparaître au cours d'une saison. La saison suivante, il est possible qu'elles ne germent pas si les conditions ne sont pas toutes réunies. Les graminées annuelles ont des racines peu profondes, et par conséquent ne séquestrent pas de carbone dans le sol.

Si l'on envisage la situation en termes de gestion des zones tampons, la tâche principale des pasteurs et des gardes consiste à recycler les composants des graminées vivaces de leurs terrains de parcours. L'objectif est de retenir l'eau, de fournir un fourrage de bien meilleure qualité et d'atténuer l'érosion et la perte de terres. Une gestion globale, holistique, des prairies contribue à atteindre cet objectif. Elle consiste à calculer les périodes de restauration en fonction des besoins des graminées vivaces, favorisant ainsi leur germination et leur croissance. Des prairies saines et résilientes sont des terres entretenues par les animaux, plutôt que par le feu ou par un « repos » prolongé. Bien que les pasteurs puissent être vus comme étant des éleveurs, il serait plus approprié de les considérer comme étant des exploitants herbagers, qui travaillent pour récolter la lumière du soleil au moyen de plantes vertes couvrant le sol, nourrissent les animaux et les populations et, grâce à des plans de pâturage bien adaptés, séquestrent également l'eau et le carbone. La priorité est d'investir dans le développement de prairies entretenues par les animaux dans lesquelles dominent les vivaces.



Figures 2 et 3: Ces photos ont été prises à des points fixes sur l'un des sites de Dimbangombe. La photo du haut a été prise en 2006, et celle du bas en 2009 après le traitement avec un impact animal très fort. La photo du haut montre la situation de cette terre telle qu'elle a été pendant plus de trente ans. Que la saison des pluies soit bonne ou mauvaise, la terre était en permanence nue et l'érosion y sévissait. (Crédit photo: Savory Institute).

## Exemples

Sur le ranch de Dimbangombe (Zimbabwe), géré par le Centre africain pour une gestion holistique (Africa Centre for Holistic Management), le bétail (bovins, chèvres et moutons) est gardé dans la journée et placé la nuit dans des enclos à l'abri des lions, conformément au plan global de gestion des pâturages. Pendant la saison de pâturage ou la saison des pluies, le troupeau broute une parcelle pendant trois jours maximum et n'y retourne pas avant trois mois. Les animaux étant sous la surveillance de gardiens, et non placés dans des prairies clôturées, ils restent en groupe toute la journée, ayant un impact bénéfique sur les sols et les plantes. Pendant la longue saison sèche, le programme est le même, mais dans la mesure où les plantes ne poussent pas, ou poussent lentement, le processus dure parfois plus longtemps. La nuit, dans l'enclos, qui reste en place durant 3 à 7 jours, le troupeau crée un très fort impact, qui résulte en une forte croissance durant les mois suivants (ou lorsqu'il pleut). Dans les zones agro-pastorales, l'enclos est utilisé la nuit pour préparer les champs de cultures qui doivent être semés. Les rendements de maïs augmentent de 3 à 7 fois par rapport aux champs préparés de manière conventionnelle (Savory et Butterfield, 2010).

L'amélioration du fourrage sur le site de Dimbangombe, faisant suite à près d'une décennie de pâturage géré selon une planification holistique intégrant la prévention du feu, a permis au ranch d'accroître substantiellement les effectifs de son troupeau, qui sont actuellement 400 % supérieur à la situation de départ. Ses responsables déclarent qu'ils pourraient doubler le chiffre dans l'immédiat s'ils disposaient des fonds et du bétail nécessaires. Les sols se sont également bonifiés. Dans les zones où prévalaient dans le passé des sols nus, des graminées couchées par le feu et des rivières intermittentes, il est aujourd'hui difficile de trouver de tels sols dans les terres basses. En fait, des fragments de terres sont réservés à la faune. Les herbes sont moins fibreuses et plus feuillées, ce qui entraîne une considérable réduction des feux, et la rivière Dimbangombe, sans être alimentée toute l'année, a progressé de 1,5 km au-dessus de son bassin versant et dispose de bassins pérennes fréquentés tout au long de l'année par des poissons, des canards et d'autres animaux. Toute la zone du bassin supérieur s'est transformée en terres humides qui continuent de se développer avec de nouvelles sources et des fourrés de roseaux. En outre, en maintenant le bétail à l'intérieur de kraals, ces enclos destinés à les protéger contre les lions, les prédateurs (lions, guépards, léopards et hyènes) peuvent errer en liberté et permettent à la faune sauvage herbivore de progresser sur ces zones. En l'absence de prédateurs, les herbivores (animaux sauvages et bétail) restent sur place et détériorent les sols et les plantes par un surpâturage et un piétinement excessif, notamment dans les zones riveraines.

La flexibilité constitue un élément essentiel des nouveaux concepts de pâturage. Dans une autre région du Zimbabwe, l'agriculteur Johan Zietsman, détenteur d'une exploitation commerciale, avait utilisé des clôtures électriques amovibles et bon marché et une forme de pâturage rationné pour obtenir des densités très élevées. Depuis, cet objectif n'a pu être atteint que par la garde des troupeaux. Durant la saison sèche, on a eu recours à de telles densités – pouvant atteindre 3 000 têtes de bétail par hectare – pour piétiner les végétaux anciens et couvrir le sol. Sur une période de dix heures, les animaux étaient changés de place dix fois. Ainsi regroupés, l'action de leurs sabots est différente, plus directe et permet de régénérer les zones retournées, d'une manière qui rappelle les résultats obtenus par la garde des troupeaux à Dimbangombe. La nuit, les bovins peuvent ruminer sur une surface plus vaste de la partie allouée au pâturage rationné. La densité extrême du troupeau et une bonne planification – demeurant basée sur le temps de récupération – ont permis d'obtenir une productivité supérieure tant du bétail que du fourrage. Ce large « effet de groupe » a

eu un effet très efficace sur la terre, comparé à celui obtenu avec des troupeaux de faible densité. On peut observer que tous les animaux broutaient en même temps. Ils arrivaient encore à choisir leur nourriture bien que « l'enclos » semblait avoir été pâturé de manière plus uniforme. Zietsman réussit à doubler sa capacité de charge grâce à ce dispositif de clôtures innovant et grâce à un pâturage bien planifié moyennant un investissement minimal (le faible coût de la clôture mobile). Un an plus tard, les résultats étaient déjà significatifs : le recouvrement du sol était passé de 43 % à 1 % ; les graminées que l'on avait laissées au repos (43 %) avaient disparu ; le pourcentage d'herbes sapides à larges feuilles passa de 11 % à 52 % de la zone, et celui des herbes à petites feuilles non sapides déclina de 86 % à 46 % (Howell, 2008).

Le pâturage planifié selon l'approche holistique est également pratiqué dans d'autres régions semi-arides du monde connaissant des périodes de fortes précipitations. Sur le grand ranch La Inmaculada, dirigé par la famille Aguirre, dans le désert de Sonaran situé au nord du Mexique, le pâturage planifié a permis de voir réapparaître de vigoureuses graminées pérennes, de même que le bois de fer et le prosopis, ce dernier fournissant un fourrage à haute teneur en protéines pendant la saison sèche. Les précipitations, en moyenne de 330 mm, sont surtout concentrées en été, et on observe de fortes variations quant à leur durée et leur localisation. Pendant la période de végétation d'été, chaque enclos ou zone de pâturage est broutée seulement une fois, en général parce que la croissance est lente et le temps de récupération des herbes pérennes peut être très long. En période de croissance rapide, le bétail n'y reste que deux ou trois jours, mais en période de croissance plus lente, il peut y rester plus d'une semaine. Le bétail n'entame jamais beaucoup les pousses de la nouvelle saison et il reste assez de fourrage pour donner les rations nécessaires lors de la longue saison sèche ou en hiver. Depuis que les Aguirre ont commencé à planifier le pâturage de leur troupeau, la couverture végétale de leurs sols est passée de 23 à 63 %, et la densité des graminées pérennes a plus que quadruplé (Howell, 2008). Ils ont donc réussi à combiner productivité et durabilité.

## Références

Howell, J. 2008. For the love of the land: global case studies of grazing in nature's image. Charleston: BookSurge.

Savory, A and Butterfield, J. 2010. The Holistic Management Framework: Social, Economic, and Environmentally Sound Development. In: Ukaga, O., Maser, C. and Reichenbach, M. eds. Sustainable Development: Principles, Frameworks and Cases. Boca Raton FL: CRC Press, pp 149-175.

# 3.11. Rôle des puits tubulaires peu profonds dans les plaines inondables



## Afrique

### Introduction

Bien que l'on ne dispose pas d'estimations précises sur la zone concernée par les systèmes d'agriculture dépendant des inondations en Afrique, l'on peut considérer qu'elle est supérieure à dix millions d'hectares. L'agriculture fondée sur la retenue des crues existe dans les zones longeant les fleuves Niger, Zambèze, Sénégal, Tana, Rufelji et Lufira et leurs affluents, ainsi qu'autour des lacs, des petites rivières et dans des dépressions naturelles, telles que les dambos et dans les vastes plaines du Soudan du Sud. Si, jusqu'à présent, l'agriculture fondée sur la maîtrise des crues n'a absolument pas attiré l'attention des acteurs, il existe d'importantes marges de manœuvre qui devraient permettre d'adopter une approche plus large et d'améliorer la productivité de ces systèmes et la vie des populations qui en dépendent.

Les plaines inondées d'Afrique constituent d'excellentes zones humides naturelles. Les eaux souterraines sont généralement disponibles à une faible profondeur et sont remplies chaque année. De plus, les eaux détournées et non utilisées finissent dans la « zone tampon humide » d'où il est facile de les extraire. Les inondations transportent également des sédiments qui restaurent les sols chaque année. Cependant, si on la compare à la situation en Asie, la densité de la population, du bétail et de l'agriculture dans les plaines inondables d'Afrique demeure très faible.

### Techniques

Plusieurs possibilités existent pour explorer le potentiel des plaines inondables:

1. Une meilleure gestion de l'eau : digues, canaux d'inondation et drains destinés à mieux guider et contrôler l'eau.

Les systèmes d'agriculture basés sur la maîtrise des crues qui se retrouvent dans diverses parties du monde, permettent de subvenir aux besoins de larges populations. Un premier exemple est le cas du Bangladesh, où l'on a assisté au cours des siècles au développement d'un système sophistiqué de diguettes, digues, canaux et drains permettant l'épandage des eaux de crue sur une large zone, évitant d'avoir des eaux stagnantes et retenant généralement les eaux sur une longue période. Ailleurs, il arrive qu'on aménage des plates-bandes surélevées pour pouvoir commencer à cultiver tôt dans la saison et utiliser les eaux de crue (Mexique), ou que, pendant la saison sèche, on

transplante les cultures pour capter l'humidité de la table (Inde).

## 2. Passage à une agriculture adaptée aux niveaux des crues.

Les cultures peuvent être cultivées dans l'humidité restant une fois que les plaines inondables se sont asséchées, mais dans certaines zones, les eaux de crue peuvent aussi être utilisées, en particulier pour la culture d'espèces de riz à croissance rapide qui croissent au même rythme que le niveau des inondations. En Éthiopie, la récente transformation d'une culture basée sur la retenue des crues en une agriculture s'adaptant au niveau de crues autour du lac Tana a permis un doublement des cultures : culture du riz sur les crues montantes, suivie d'autres cultures, tels que pois chiches, sur l'humidité restante. De telles transformations sont possibles dans d'autres zones en fonction du modèle de montée des crues. Dans de telles zones, l'introduction de variétés de riz flottant peut être envisagée (variétés à croissance très rapide qui suivent la vitesse de la montée des crues et peuvent atteindre 3 à 5 m de hauteur). Les variétés de riz flottant poussent dans des zones aussi diverses que le Mali et le Cambodge.

## 3. Utilisation des eaux peu profondes.

La plupart des plaines inondables sont des zones disposant de très importantes ressources en eaux souterraines peu profondes. Étant en permanence rechargées par les inondations et l'écoulement des cours d'eau, ces eaux constituent une ressource très fiable et relativement facile à exploiter. Une telle méthode requiert l'utilisation de puits tubés peu profonds – pouvant être fermés pendant la saison des crues – plutôt que de puits creusés qui seraient inévitablement endommagés par les crues. L'irrigation à l'aide de puits tubés permet de poursuivre l'irrigation des champs peu de temps



Figure 1: Développement d'une horticulture à haute valeur ajoutée dans la plaine inondable du lac Koka, Éthiopie.

Tableau 1: Guide sommaire des techniques de forage manuel

Technique	Description	Avantages / inconvénients
Les tarières à main	Sont des tiges d'acier extensibles, tournées par une poignée. Différentes tarières en acier (trépans) peuvent être attachées à l'extrémité des tiges en acier. Les tarières sont introduites dans le sol jusqu'à ce qu'elles soient pleines, puis sont relevées des trous de forage pour être vidées. Des tarières spéciales peuvent être utilisées pour différents types de formations (types de sols). Au-dessus des nappes phréatiques, le trou de forage reste en général ouvert sans qu'il soit nécessaire d'assurer son entretien. Sous les nappes phréatiques, il est possible d'utiliser un tubage temporaire pour éviter l'effondrement des trous de forage. Le forage continue à l'intérieur du tubage temporaire en utilisant un tube à clapet jusqu'à ce que la profondeur désirée soit atteinte. Le tubage permanent du puits est ensuite installé et le tubage temporaire est alors retiré. Les tarières peuvent être utilisées jusqu'à une profondeur d'environ 15-25 m, en fonction de la géologie.	Avantage: facile à utiliser au-dessus des nappes souterraines; équipement peu onéreux.  Inconvénient: il peut être difficile de retirer le tubage temporaire. Application géologique: sable, limon et argile molle.
Le forage à la boue	Utilise la circulation de l'eau pour remonter la terre forée à la surface. Les tiges de forage sont activées de haut en bas. Dans la descente, l'impact du trépan ameublisse le sol et dans la montée, le haut de la tige se ferme à la main (ou par une valve), conduisant l'eau au travers de la tige et transportant les déblais à la surface. Lors de la descente suivante, la main (ou valve) ouvre le haut de la tige et l'eau est injectée dans une fosse située devant le puits. Dans cette fosse, les déblais sont séparés de l'eau et se déposent tandis que l'eau débordant de la fosse retourne dans le puits. Le puits de forage reste ouvert grâce à la pression de l'eau. Des épaisseurs (additifs) peuvent être ajoutés à l'eau pour prévenir l'écroulement du puits et réduire la perte de l'eau (boue). On utilise souvent à cet effet de l'eau mélangée à de la bouse de vache. Le forage à la boue peut être utilisé jusqu'à des profondeurs de 35 m environ.	Avantages: facile à utiliser; tubage temporaire inutile.  Inconvénients: l'eau doit être maintenue pendant le processus de forage. Le niveau de la nappe n'est pas connu pendant le forage.  Application géologique: sable, limon, argile, argile raide et plus molle – roches consolidées, latérite météorisée
Le fonçage	Basé sur la circulation et la pression de l'eau. Contrairement à la méthode de forage à la boue, l'eau est pompée le long des tiges de forage. Le grand volume d'eau a un effet érosif en bas et les boues (eau et déblais) sont transportées vers le haut entre la tige de forage et la paroi du trou de forage. Une motopompe est utilisée pour assurer un débit d'eau adéquat. La tige de forage peut avoir une extrémité ouverte, ou bien l'on ajoute un trépan et l'on peut utiliser une rotation partielle ou totale de la tige. Des épaisseurs (additifs) peuvent être ajoutés à l'eau pour prévenir l'effondrement du puits et réduire la perte de l'eau (boue). Le fonçage (avec rotation) est généralement utilisé jusqu'à des profondeurs de 35-45 m.	Avantage: rapide dans le sable.  Inconvénients: exige beaucoup de travail dès le départ. Le niveau de la nappe phréatique n'est pas connu pendant le forage.  Application géologique: limité au sable et aux couches minces d'argile molle.

après la fin des inondations. Plusieurs techniques existent (voir Encadré 1), qui sont à la fois peu onéreuses et susceptibles d'être opérées de manière artisanale. À la différence de ce qui se fait en Asie, les compétences nécessaires pour creuser des puits peu profonds manuellement n'est pas encore une pratique étendue. be mastered artisanally. Unlike Asia the skills in manual drilling of shallow wells is not yet as widespread in Africa.

#### 4. Diversification. Pêche, bétail

Les systèmes d'agriculture basés sur les inondations fournissent la base de systèmes de subsistance diversifiés – reposant notamment sur l'agriculture, mais aussi sur les pêcheries et le pastoralisme. Les poissons par exemple peuvent être élevés dans des étangs en tranchées. De même, les zones humides dans et autour des systèmes basés sur les inondations offrent des opportunités pour avoir des produits non-ligneux, des plantes médicinales et d'autres produits. Les chaînes commerciales ne sont cependant pas encore suffisamment développées.

### Développement des plaines inondables (fadamas)

Les fadamas sont de vastes plaines inondables situées en basse altitude que l'on trouve le long des



réseaux hydrographiques du Nigéria et sous lesquelles se trouvent des aquifères peu profonds. Les aquifères alluviaux sont formés par le dépôt de matières en suspension au-dessus des pentes douces et des canaux mal définis. Le limon et d'autres matières sont suspendus dans des bassins d'eau stagnante. Avec le temps, ces alluvions forment des couches de limon d'argile, de sable et de boues limoneuses recouvrant les matériaux sableux d'origine – dans un ordre peu évident. La faible transmissivité de l'eau, la faible capacité de stockage des alluvions lourdes et leur distribution inégale résultent en des poches d'aquifères dans toute la plaine inondable. Grâce à l'expérience, aux essais réalisés et aux erreurs survenues, les usagers de l'eau ont excavé des puits là où les aquifères se sont formés. De ce fait, les puits traditionnels creusés à faible profondeur – moins de 5 mètres – sont souvent regroupés le long de la fadama. Les zones où se trouvent localement des endroits argileux sont révélées par des puits effondrés et deviennent des sites

Figure 2: Les puits creusés dans les plaines inondables ont tendance à s'effondrer et sont vulnérables à la baisse des nappes phréatiques (Crédit photo: MetaMeta).

privilegiés pour la fabrication de briques. Le climat est ici semi-aride et comporte des précipitations de l'ordre de 700 mm, avec un pic en août. Dans le passé, l'irrigation commençait en novembre, lorsque les plaines étaient suffisamment asséchées pour permettre le retrait de puits creusés (Tarhule et Woo, 1997).

Depuis 1992, la Banque Mondiale apporte son soutien au développement de l'agriculture dans ces zones. Un des principaux éléments de ce programme a été la construction de plus de 40 000 puits tubés, équipés de petites pompes à eau entraînées par moteur, ce qui à l'époque représentait une toute nouvelle technologie. Cela a permis d'avoir une irrigation plus fiable, couvrant une période plus longue et de cultiver par exemple des légumes. Ces actions faisaient partie d'un programme plus large – fourniture accrue d'intrants agricoles et améliorations importantes des infrastructures – allant de stockages locaux aux routes. Pour améliorer de manière durable les revenus des différents groupes (agriculteurs, pêcheurs, chasseurs, pasteurs et cueilleurs), des subventions ont été fournies à des sous-projets à petite échelle concernant la production ou l'économie et les infrastructures : étangs d'élevage, entrepôts frigorifiques, fabriques d'aliments, équipement pour les récoltes, pistes, petits ponts, caniveaux, marchés ruraux, électrification des villages ; formation et développement des compétences. Le développement accéléré a également créé des tensions entre les différents groupes d'utilisateurs, certains agriculteurs et parfois des militants en dehors des groupes de bergers, concernant l'accès aux terres causé par la dégradation des prairies sur d'autres sites. Un autre problème tient au fait que, les puits étant utilisés de manière intensive pour l'irrigation le matin, il arrive qu'ils ne soient pas encore rechargés le soir lorsqu'ils doivent servir pour l'abreuvement du bétail. Le Projet de développement des fadamas adopte une approche privilégiant un développement mené par les communautés, les bénéficiaires étant aussi les décideurs. Les membres des communautés locales, sous les auspices des associations communautaires des fadamas et des groupes d'utilisateurs des fadamas, contrôlent la mise en œuvre des programmes de développement local et ont le pouvoir, grâce à leurs compétences et au développement des capacités dont ils bénéficient, d'améliorer leurs moyens de subsistance en augmentant des activités génératrice de revenus.

Tableau 2 : Intrants nécessaires pour le forage manuel de puits tubés de faible profondeur

Méthode *	Équipement (en dollars US)	Main d'œuvre (en jours)	Profondeur maxi- mum (m)
Tarières à main	200 - 600	1 - 4	15 - 25
Percussion	300 - 1200	2 - 8	< 25
Fonçage rotatif	800 - 1400	1 - 2	35 - 45
Forage à la boue rotatoire	600 - 1000	1 - 3	35

\* Le choix de la méthode de forage et le nombre de jours de travail dépendent de la nature des couches géologiques et de la profondeur du puits. Il convient également d'intégrer les coûts du tubage du puits (bambou, PVC, fer galvanisé) et du revêtement

Source: PRACTICA Foundation. 2010. *Manual drilling series - Technical training on affordable manual well drilling*

## Références

- Barrow, C.J. 1999. *Alternative irrigation: the promise of runoff agriculture*. London: Earthscan.
- Siebert, S., Burke, J. Faures, J.M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Doëll, P. and Portmann, F. T. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. In: *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, pp. 1863–1880.
- Tarhule, A. and Woo, M. 1997. Characteristics and use of shallow wells in a stream fadama: a case study in northern Nigeria. *Applied Geomorphology*, 17 (1), pp. 29-42.
- Practica Foundation. (2009). *How to Professionalize the Manual Drilling Sector in Africa*, Practica Foundation [online video] Available at: <http://thewaterchannel.tv/media-gallery/1127-how-to-professionalize-the-manual-drilling-sector-in-africa> [Accessed at 23 August 2011].
- van der Wal, A. 2010. *Understanding Groundwater and Wells In Manual Drilling*. Papendrecht: Practica Foundation.

## 3.12. Paillis de plastique, solutions alternatives biodégradables

### Chine et États-Unis

#### Introduction

Au cours des vingt dernières années, le paillage en plastique a connu un développement rapide, surtout en Chine, où dans certaines régions, on voit briller des vallées entières en partie recouvertes de paillis en plastique. Dès 1999, la zone concernée était estimée à 9,5 millions d'hectares (Brown, 2004). Depuis, cette surface a au moins doublé. La technique est très répandue, en particulier dans les provinces du nord-ouest et du sud-ouest du pays soumises à la sécheresse, telles que celles du Xinjiang et du Yunan. Cette méthode est populaire car elle crée un microclimat permettant un meilleur contrôle de l'eau, de la température et des nutriments. Autant de facteurs qui permettent de commencer les cultures plus tôt et de réduire sensiblement les opérations de sarclage. Le paillage en plastique empêche l'évapotranspiration improductive. Au lieu de s'évaporer, l'eau est conservée près des racines des cultures. Tout en permettant d'assurer une circulation efficace de l'eau dans la terre végétale, la couverture en plastique augmente aussi l'absorption de nutriments (prévient la perte de ces nutriments durant les averses éparées). Elle augmente ou diminue la température des sols (favorisant une germination plus précoce).



Figure 1: Le paillage en plastique est très populaire en Chine (Crédit photo: MetaMeta)

Différentes couleurs de paillis sont utilisées – transparent (clair), blanc ou noir – chacun ayant un impact différent sur les facteurs de croissance des cultures. Les films transparents permettent une croissance des plantes en début de saison, alors que le soleil brille au travers des feuilles. Les films noirs sont utilisés pour contrôler la croissance des herbes, alors que la lumière du soleil ne peut passer, bloquant la photosynthèse. Le film blanc (ou bien argent ou aluminium) est utilisé pour rediriger sur le feuillage la lumière du soleil passée sur la nappe foliaire, permettant des rendements supérieurs. En même temps, le film blanc rafraîchit le sol, permettant de cultiver des cultures en cas de températures élevées. Les différents films diffèrent également en termes d'épaisseur et de porosité, ayant des effets différents sur la circulation de l'eau, l'absorption des nutriments et la longévité. Les feuilles de plastique sont placées manuellement ou mécaniquement et des trous y sont percés pour permettre la croissance des plantes.

L'application et le retrait du paillis plastique nécessite de la main d'œuvre et entraîne par conséquent des coûts additionnels, mais ceux-ci sont contrebalancés par la croissance de la production qui, dans des circonstances normales, augmente de 50 %, et dans des cas exceptionnels, peut même quadrupler ou quintupler (D.C. Sanders, 2001 ; Osiru et Hahn, 1994 ; M. Ashrafuzzaman et al. 2011). L'augmentation des coûts afférents au paillis est en partie compensée par les économies faites en termes de main d'œuvre et d'énergie nécessaire pour le retrait des mauvaises herbes, l'application des fertilisants et l'irrigation. Par exemple, les systèmes d'irrigation par goutte à goutte largement utilisés en combinaison avec des paillis plastiques utilisent « beaucoup moins d'énergie et d'eau que les méthodes telles que l'irrigation par rigoles d'infiltration ou que l'arrosage sur frondaison » (Kovach et al. 1999).

Les défis posés par le paillage en plastique sont à la fois financiers et environnementaux. Le prix du paillis en plastique est élevé. Il est d'environ 0,14 dollar US par mètre carré ou de 700 dollars US par hectare (la zone n'est pas entièrement couverte). Les défis environnementaux concernent la question de la destruction du plastique à la fin de son cycle de vie (un à dix ans en général) en fonction de son épaisseur et de son usage.

## Alternatives biodégradables<sup>1</sup>

Les préoccupations liées au risque de résidus de paillis plastique dans les sols et au coût d'utilisation de ce produit ont conduit les chercheurs à identifier des solutions alternatives biodégradables. Aux États-Unis, une estimation réalisée en 2004 a évalué les coûts de retrait et de destruction des paillis de plastique à 250 dollars par hectare, un inconvénient coûteux (Schonbeck, 1995 ; Olsen et Gounder, 2001). Des plastiques biodégradables ont été introduits en agriculture dès les années 1980. Cependant, leur niveau de biodégradabilité (changement significatif de la structure chimique résultant en une diminution des propriétés physiques et mécaniques, [selon l'ASTM D883-11, 2011]) était insuffisant et ils se fragmentaient en petits morceaux (Riggle, 1998). Dans les années 1990, des allégations inexacts sur ce produit causèrent une certaine confusion sur le terme « biodégradable » (Yabannavar et Bartha, 1994) et, presque vingt ans plus tard, le scepticisme des cultivateurs

---

1 Contributions de : C. Miles, D. Hayes, M. Brodhagen, J. Lee, A. Wszelaki, J. Moore-Kucera, R. Wallace, T. Marsh et D. Inglis. Washington State University, University of Tennessee, Texas Tech University, Western Washington University, and Texas A&M University; USDA SCRI Project No. 2009-02484.

demeure. De plus, les produits biodégradables qui sont commercialisés pour l'agriculture sont généralement deux à trois fois plus onéreux que les paillis standards en plastique noir.

Pour être considéré comme biodégradable, le produit doit se décomposer en dioxyde de carbone, méthane, eau, composés inorganiques ou biomasse microbienne (Song et al, 2009). La biodégradation comprend généralement une dégradation abiotique, suivie d'une dégradation microbienne (hydrolyse enzymatique des polymères), d'abord en oligomères à faible poids moléculaire et enfin en dioxyde de carbone et en eau. L'ASTM (American Society for Testing and Materials) et d'autres organismes dans le monde ont dressé les grandes lignes de protocoles d'évaluation de la biodégradabilité des plastiques, Ces protocoles comprennent notamment la méthode ASTM D6400 (2004), spécifiant que dans le compost à 58° C, 60 % des molécules de carbone organique du plastique doivent être convertis en dioxyde de carbone en l'espace de 180 jours. Toutefois, ces méthodes ne quantifient pas la dégradation des polymères au niveau moléculaire (Korzan et al, 2006 ; Roy et al, 2011 ; Yabannavar et Bartha, 1994).

Pour pouvoir attester du succès d'un paillis biodégradable, il faut qu'il soit aussi performant que le paillis en plastique noir sur les points suivants : contrôle des mauvaises herbes, conservation de l'humidité et modifications de température, croissance et rendement des cultures. De plus, il doit être suffisamment dégradé à l'approche de la dernière collecte pour pouvoir être brûlé en vue de sa biodégradation ultérieure dans le sol sans devoir accroître les coûts de main d'œuvre (ou d'autres intrants). Les paillis qualifiés de « biodégradables » sont commercialement disponibles (Tableau 1). Le paillis de papier (en cellulose) est 100 % biodégradable dans le champ, alors que les autres paillis contenant des polymères dérivés de pétrole non renouvelable ont été considérés comme biodégradables, mais en tant que compost plutôt que dans le champ. Les biopolymères (dérivés de matériaux biologiques renouvelables tels que l'amidon) et biodégradables, tels que l'acide polyactide (PLA) sont également en vente, et présentent un potentiel satisfaisant en tant que paillis



Figure 2: Paillis de plastique noir utilisé dans une plantation d'ananas, Kenya (Crédit photo: MetaMeta).

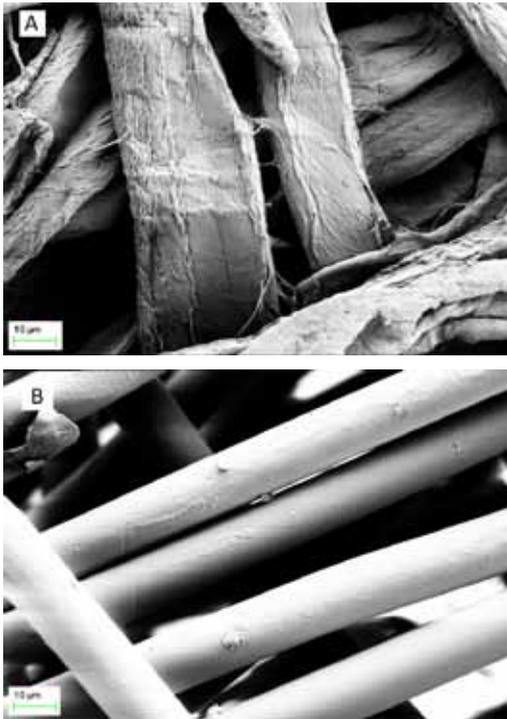


Figure 3: Photomicrographies au microscope électronique à balayage de spécimens cellulose (a), SB PLA (b) initialement à 1.000 X specimens

adapté à l'agriculture (Vroman et Tighzert, 2009). Le PLA, dérivé de la transformation microbienne de l'amidon de maïs, possède de nombreuses applications dans les matériaux biodégradables ou compostables. La production de paillis PLA augmente, et les coûts sont plus compétitifs avec le paillis de polyéthylène (actuellement seulement 15 % environ plus cher) (<http://www.cupdepot.com>). Le PHA est produit par des bactéries et est nettement (trois fois) plus cher que le PLA. Tant les biopolymères PLA que le PHA peuvent être friables et le PHA peut être soumis à une dégradation thermique.

Les effets globaux sur la santé des sols et l'écologie microbienne de l'incorporation de paillis biodégradables dans les sols agricoles sont inconnus. Une des préoccupations actuelles est liée au fait que les plastiques conventionnels peuvent former des microplastiques (particules inférieures à 5 mm de diamètre) qui absorbent les toxines présentes dans l'environnement, les concentrant ainsi (voir Zarfl et Matthies,

2010 ; Teuten et al, 2007 ; Mato et al, 2001). On ignore si les fragments de paillis biodégradable absorberont et concentreront aussi les toxines (par exemple des résidus de pesticides) parfois trouvés dans les sols agricoles et quel effet ce processus peut avoir dans un écosystème agricole. Une autre inconnue, le rythme auquel les sols pourront permettre la décomposition du paillis biodégradable. Les taux sont susceptibles de différer en fonction des régions et des systèmes de culture. Par exemple, dans une étude de terrain en cours, des paillis biodégradables sélectionnés et commercialisés (deux à base d'amidon et un à base de cellulose) et un paillis en PLA expérimental non tissé furent testés pour la production de tomates dans trois régions des États-Unis (nord-ouest de l'État de Washington, froid et humide, nord-est du Tennessee, chaud et humide et nord-ouest du Texas, chaud, humide et venteux). À la fin de la première année, tous les paillis biodégradables commercialisés ont montré une dégradation accrue (comparée à celle d'un paillis en polyéthylène) dans tous les climats, la dégradation étant plus importante dans le climat chaud, sec et venteux. Le paillis à base de cellulose a enregistré la plus forte dégradation sur les trois sites, alors que le PLA non tissé ne présentait aucun signe de dégradation physique.

De petits carrés de paillis biodégradables furent ensuite enterrés pendant l'hiver sur chaque site. Pendant le printemps suivant, des bactéries et des champignons autochtones se trouvant dans le sol et ne pouvant pousser qu'avec des paillis biodégradables pour avoir une source de carbone, furent isolés en laboratoire. De plus, la zone de chaque morceau de paillis enterré fut mesurée au bout de six mois, et comparée à leur taille originale. Dans le cas des paillis biodégradables à base d'amidon, la surface de la zone était située entre 100 % et 71 % de celle d'origine, alors que dans celui des paillis à base de papier, la surface où il avait été enterré était de 95 % à 0 % (non détectable) de

celle d'origine. Partout, la biomasse microbienne du sol et le potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote étaient supérieurs dans le sol situé à proximité du paillis de papier. Sur les trois sites, la dégradation visible du paillis à base de PLA était très faible. La relation possible entre le climat, la microbiologie du sol, les processus biochimiques du sol et la décomposition du paillis biodégradable est actuellement à l'étude.

Les paillis destinés à l'agriculture peuvent influencer les propriétés physiques du sol, y compris la température et l'humidité, qui affectent également beaucoup la croissance et le rendement des cultures, de même que l'écologie des sols. Dans la même étude de terrain, la température maximum à la surface du sol avec paillis à base d'amidon était de 3-° C supérieure à celle mesurée avec un paillis de plastique noir. Cette tendance se prolongeait jusqu'à une profondeur de 15 cm. Le taux d'humidité du sol à 15 cm et à 46 cm de profondeur ne différait cependant pas, qu'il s'agisse de paillis biodégradables ou de paillis en plastique noir. Dans la partie de l'étude consacrée à l'État de Washington (climat froid), le rendement des tomates était supérieur à celui d'un sol nu, alors que dans les climats relativement chauds du Tennessee et du Texas, il n'y avait aucune différence. Ces résultats suggèrent que dans un climat froid, le réchauffement du sol grâce au paillis permet d'augmenter les rendements de la production de tomates. Sur les trois sites, le rendement des tomates avec des paillis biodégradables était comparable à ceux observés avec un paillis de plastique noir. L'étude des effets du plastique noir comparés à ceux de paillis biodégradables sur les racines des tomates est en cours.

Avant d'effectuer l'étude de terrain destinée à comprendre l'état actuel des connaissances des cultivateurs sur les paillis plastiques et biodégradables, une enquête qualitative a été réalisée auprès d'un certain nombre de leaders d'opinion, ciblant notamment les agriculteurs leaders et innovants résidant sur l'un des trois sites (État de Washington, du Tennessee et du Texas), (Miles et al, 2009). Trois quarts des personnes interrogées (n = 34) avaient utilisé des paillis de plastique et étaient satisfaites des résultats. Toutefois, leurs préoccupations principales portaient sur le retrait et l'élimination des paillis, notamment du fait que le recyclage était impossible dans la plupart des zones concernées. Près de 25 % des agriculteurs avaient essayé les paillis biodégradables. Parmi cette population, 28 % considéraient que les paillis biodégradables permettaient un contrôle des mauvaises herbes et une conservation de l'humidité/de l'eau adéquats. Cependant, 60 % étaient mécontents, en raison du caractère imprévisible et incomplet de la biodégradation et du fait des coûts supplémentaires liés au retrait des fragments non décomposés. Les résultats de cette enquête et ceux de notre étude de terrain indiquent que les paillis biodégradables actuels n'ont pas encore atteint un niveau de biodégradabilité satisfaisant. Alors qu'un tiers des agriculteurs estimaient que les paillis biodégradables convenaient pour les plantes qu'ils cultivent, les barrières freinant son adoption sont diverses : coût élevé, manque de disponibilité, et absence de connaissances sur les paillis biodégradables, notamment sur leur efficacité et leurs effets potentiels sur la santé et la qualité du sol. Les travaux en cours sur les paillis biodégradables devraient permettre de fournir des réponses à certaines de ces interrogations.

Tableau 1 : Paillis qualifiés de biodégradables destinés à l'agriculture, commercialisés

Nom du produit (paillis)	Composants	Fabricant
Ecoflex	PBAT <sup>1</sup> est le principal composant	BASF, Allemagne
Bicosafe	Copolymères totalement biodégradables, tels que PBAT <sup>1</sup> et PBSA <sup>2</sup>	Xinfu Pharmaceutical Co., Ltd., Zhejiang, Chine
Biobag Agri	Amidon, dérivés d'huile végétale et polymères synthétiques biodégradables non spécifiés	Novamont, Novara, Italie
Bio-Flex	Mélange de PLA <sup>3</sup> et de co-polyester	FKuR, Willich, Allemagne
BioTelo Agri	Amidon, dérivés d'huile végétale et polymères synthétiques biodégradables non spécifiés	Dubois Agrinovation, Waterford, Ontario, Canada
WeedGuard Plus	Cellulosic	Sunshine Paper Co. LLC, Aurora, CO

<sup>1</sup> PBAT = poly(butylène adipate-co-téréphthalate)

<sup>2</sup> PBSA = poly(butylène succinate-co-adipate)

<sup>3</sup> PLA = Acide polyactide

## Références

- Ashrafuzzman, M. et al. (2011). Effect of plastic mulch on growth and yield of chill (*Capsicum annum* L.). *Brazilian Archives of biology and technology*, Volume 52, Issue 2, pp. 321-330
- ASTM D5338. 2003. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions. ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D6400. 2004. Standard specification for compostable plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/D6400-04, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D6954. 2004. Standard guide for exposing and testing plastics that degrade in the environment by a combination of oxidation and biodegradation. ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/D6954-04, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D883-11. 2011. Standard terminology relating to plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA. [www.astm.org](http://www.astm.org).
- Bergholtz, P. 2006. President, Ken-Bar Company. Personal communication, 5 November 2006.
- Brown, R.P. (2004). *Polymers in agriculture and horticulture*. RAPRA review reports.
- Hill, D.E., L. Hankin, and G.R. Stephens. 1982. Mulches: Their effects on fruit set, timing and yields of vegetables. *Bulletin 805, CT Agr. Expt. Sta., New Haven*, 15 pp.
- Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Ngouajio, M., and Fernandez, R.T. 2008. Assessment of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part II: laboratory simulated conditions.

Chemosphere 71:1607-1616.

Krzan, A., Hemjinda, S., Miertus, S., Corti, A., and E. Chiellini. 2006. Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastics. *Polymer Degradation and Stability* 91: 2819-2833.

Kovach, S.P., Curtis, L.M. and Hemelrick, D.G., 1999. Plastic mulch culture for vegetables. Alabama AG irrigation info network, [online] Available at: < <http://www.aces.edu/anr/irrigation/ANR-654.php> > [Accessed on 30 August 2011]

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T., 2001. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science and Technology* 35, 318–324.

Miles, C., C. Beus, A. Corbin, R. Wallace, A. Wszelaki, H. Saez, T. Walters, K. Leonas, M. Brodhagen, D. Hayes and D. Inglis. 2009. Research and extension priorities to ensure adaptation of high tunnels and biodegradable plastic mulch in the United States. Agricultural Plastics Congress, July 13-16, College Station, Pennsylvania.

Olsen, J.K., and R.K. Gounder. 2001. Alternatives to polyethylene mulch film – a field assessment of transported materials in capsicum (*Capsicum annuum* L.). *Austral. J. Experimental Agr.* 41:93-103.

Osiru, D.S.O. and Hahn, S.K. (1994). Effects of mulching materials on the growth, development and yield of white yam. *African Crop Science Journal*, Volume 2, Issue 2, pp. 153-160

Riggle, D. 1998. Moving toward consensus on degradable plastic. *Biocycle*: 39:64.

Roy, P.K., Hakkarainen, M., Varma, I.K., and A.C. Albertsson. 2011. Degradable polyethylene: fantasy or reality. *Environ. Sci. Technol.* 45: 4217-4227.

Saponaro, S., Sezenna, E., Innocenti, F.D., Mezzanotte, V., and Bonomo, L., 2008. A screening model for fate and transport of BDM polyesters in soil. *Journal of Environmental Management* 88:1078-1087.

Sanders, D.C. (2001). Using plastic mulches and drip irrigation from vegetable production. [online] Available at: < <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-33.html> > [Accessed on 30 August 2011]

Schonbeck, M.W. 1995. Mulching practices and innovations for warm season vegetables in Virginia and neighboring states. 1. An informal survey of growers. *VA Assoc. Biol. Farming*, Blackburn, VA, 24 p.

Shogren, R.L. 2000. Biodegradable mulches from renewable resources. *J. Sustainable Agr.* 16:33-47.

Song, J.H., R.J. Murphy, R. Narayan, and G.B.H. Davies. 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics, *Phil. Trans. R. Soc. B* 364:2127-2139.

Takakura, T., and W. Fang. 2001. Climate under cover. Kluwer Academic Publishers, p. 1-10. <TUhttp://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/Bio-ctrl/cuc-chap1.pdf>.

Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., and R.C. Thompson. 2007. Potential for Plastics to Transport Hydrophobic Contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 41: 7759-7764.

Vroman, I., and L. Tighzert, 2009, *Biodegradable Polymers*, Materials 2, 307-344

Yabannavar, A.V. and R. Bartha. 1994. Methods for assessment of biodegradability of plastic films in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3608-3614.

Zarfl, Christiane and Michael Matthies. 2010. Are marine plastic particles transport vectors for

organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin* 60 (2010) 1810–1814.

## 4. Coûts et bénéfices de la gestion des zones tampons

Notre présentation a jusqu'à présent évoqué le rôle de la transformation des paysages dans l'amélioration de la vie des populations et du dynamisme des économies rurales. Nous y avons introduit un certain nombre d'exemples où les paysages, ainsi que les zones tampons qui leur sont associées, ont été transformés – à l'échelle et en utilisant des techniques connues et innovantes.

Pour le moment – et contrairement aux moyens affectés aux infrastructures, notamment au développement de l'irrigation, à la construction de routes ou aux systèmes d'approvisionnement en eau – les investissements consacrés à la gestion des zones tampons ou les projets de développement intégré des paysages ne constituent pas encore une approche majoritaire. Il n'existe pas de méthode uniforme de calcul des coûts et des bénéfices qui permettent de les traduire en plans d'investissement. Cette lacune est en partie due à la grande complexité des investissements nécessaires, au fait que le développement des paysages nécessite des actions sur mesure, à la nature innovante de certaines techniques et au caractère composite de bénéfices dont les fins sont multiples. Elle s'explique également par l'existence d'une tradition fondée sur des programmes de création d'emplois, les économies et l'initiative privée étant reléguées au second plan.

L'historique des aides montre également que dans de nombreux gouvernements et organismes de financement extérieurs, les investissements dirigés vers la production agricole, la diminution de la pauvreté et la gestion des ressources naturelles ont été affectés à des services non reliés entre eux. Il en résulte que la gestion des zones tampons et les investissements consacrés à l'amélioration du paysage restent difficiles à réaliser. Les investissements ont souvent un caractère partiel et n'atteignent pas la masse critique nécessaire pour assurer le succès de la transformation souhaitée. En conséquence, les effets d'échelle permettant un renforcement mutuel des processus et une transformation systématique des paysages et des économies ne sont pas atteints.

Ce phénomène subsiste bien que, dans de nombreux cas, investir dans la gestion des zones tampons semble parfaitement logique. Le présent chapitre a pour objectif de rassembler toutes les informations actuellement disponibles sur les coûts et les bénéfices liés à la gestion des zones tampons et sur les facteurs sous-jacents.

### Les coûts de la gestion des zones tampons

La gestion des zones tampons comporte toute une série de techniques. Certaines très répandues, d'autres – en dépit de leur potentiel – assez peu connues en dehors de la zone où elles ont été développées. Le succès d'une technique est conditionné par les caractéristiques du site où elle est introduite. Certaines caractéristiques concernent le climat, l'hydrologie (zone aride ou humide), la géologie et sols (opportunités de créer des tampons). D'autres ont trait à l'utilisation actuelle des sols et de l'eau (agriculture, pastoralisme, sylviculture, faune, villes, énergie hydraulique), et à la disponibilité en matériaux (pierres, argile, géotextiles). Un dernier facteur apparaît comme essentiel,

celui de l'organisation et des priorités locales. L'expérience des Zaïs, ou trous de plantation, au Niger et au Burkina Faso, souligne la valeur des expérimentations locales et des partages d'expériences. Trouver la solution qui est exactement adaptée à la situation n'est pas donné à l'avance. Le succès repose sur l'intervention d'innovateurs locaux.

L'autre domaine est celui de l'économie. Il s'agit ici de déterminer la faisabilité du projet au regard des investissements et des dépenses courantes et de s'assurer de l'existence des ressources à mobiliser. Il faut préciser s'il y a des marchés et des réseaux routiers et s'il est possible d'identifier des utilisations à haute valeur ajoutée des terres susceptibles de constituer la base économique d'une gestion durable des terres. C'est le dilemme de « l'œuf non éclos et du poulet qui n'est pas encore né » : il existe des opportunités inutilisées qui doivent être identifiées avant de pouvoir mobiliser des investissements majeurs.

Le tableau 1 est un aperçu des coûts et bénéfices d'une série de techniques de gestion des zones tampons, dont la description a été présentée sur les diagrammes 3 et 4 du Chapitre 2. Les coûts d'investissement de la gestion des tampons diffèrent sensiblement, pouvant être très modestes ou atteindre des niveaux moyens ou même élevés. La figure 1 donne un aperçu des coûts par hectare et des coûts par mètre cube de stockage, en fonction des techniques de gestion choisies. Celles-ci vont de mesures de collecte de l'eau et de conservation des sols sur des terres individuelles à des méthodes de retenue et de stockage de l'eau appliquées directement au niveau d'un paysage. Le coût dans une localité donnée dépend d'une série de facteurs, mais les coûts de la main d'œuvre locale et des matériaux sont ici des facteurs essentiels. Les coûts et les bénéfices figurant sur le tableau indiquent donc un ordre de grandeur. Les chiffres communiqués proviennent à la fois du présent ouvrage et du précédent, intitulé « La gestion des zones tampons », ainsi que d'autres sources telles que la base de données de WOCAT (le Panorama mondial des approches et technologies de conservation) – (Critchley et al 2007). Une liste plus détaillée de ces sources est donnée en annexe.

Au niveau le plus bas (< 150 dollars US par ha), on trouve les investissements individuels faisant partie de pratiques agronomiques ou pastorales favorisant en même temps la recharge et la retenue et une meilleure gestion des sédiments. Parmi ces pratiques, on peut citer les bandes herbagées, le pâturage contrôlé, les trous de plantation, les andains de niveau. La plupart de ces coûts entrent dans la catégorie des intrants relatifs à la main d'œuvre et à la gestion de l'exploitation. Ils sont donc indépendants de toute mise à disposition d'argent pour la mise en œuvre des actions.

Dans la catégorie des coûts supérieurs à 150 dollars US, on trouve les interventions – telles que cordons pierreux, terrasses, brise-vents ou agroforesterie – correspondant à des coûts moyens nécessitant un apport d'argent. Ces actions mettent parfois du temps à porter des fruits et le retour sur investissement n'est pas immédiat. Certaines des pratiques de gestion des terres les plus coûteuses – telles que le paillage de plastique – sont du même ordre et sont soutenues par une agriculture à plus grande valeur ajoutée.

Pour la plupart des techniques, les coûts sont (très) variables, les investissements les plus coûteux pouvant atteindre 2 500 dollars US par hectare. Certaines techniques sont interchangeables : il s'agit de techniques à faible ou moyen coût convenant dans des situations similaires, mais donnant des résultats différents en termes d'efficacité et de longévité. C'est le cas par exemple des bandes herbagées et des cordons pierreux ou bien des bassins d'infiltration et des puits de recharge. Si les coûts d'une technique sont faibles, la probabilité de la voir intégrée par l'agriculteur dans son répertoire d'investissements pour la gestion de ses terres est supérieure et la possibilité de les voir

fructifier est meilleure. Dans l'hypothèse d'une application faite à peu de frais, les bénéfices en termes de productivité peuvent s'avérer nettement plus faibles et les coûts récurrents plus élevés.

Après avoir présenté les investissements individuels et ceux basés sur la gestion locale des terres, il convient d'évoquer une troisième catégorie d'investissements. Il s'agit de ceux qui sont réalisés au niveau du paysage et dont les coûts ne peuvent être d'emblée attribués à un groupe donné d'utilisateurs. Ils concernent notamment les adaptations de routes, la protection des lits des cours d'eau locaux charriant des sédiments, les mesures de retenue dans les artères principales des rivières, la consolidation des talus autour des sources, le colmatage des ravines et le reboisement des collines.

Il convient de souligner ici que, toutes choses égales par ailleurs, le montant de nombreux investissements liés aux zones tampons peut (par hectare aménagé) être modeste. L'investissement peut être presque nul ou atteindre un montant maximum de 2 500 dollars US par hectare. À titre de comparaison, on peut préciser que ces montants sont bien inférieurs à ceux qui prévalent dans l'agriculture irriguée (FAO, 2011). En matière d'irrigation, les investissements vont de 300 à 8 000 dollars US par hectare. Les investissements les moins coûteux concernent généralement des systèmes plus importants impliquant des modifications mineures. Les plus coûteux ont trait à des systèmes réalisés à échelle relativement modeste.

## Bénéfices

Les bénéfices directs liés à de meilleures techniques de gestion des zones tampons sont substantiels. L'aménagement de terrasses, les diguettes de contour de niveau, le paillage et autres dispositifs sont des techniques d'amélioration de la gestion des terres qui peuvent entraîner une augmentation considérable (de 2 à 6) des rendements des cultures et de concentration du bétail. Une telle augmentation permet d'opérer des transformations spectaculaires dans des zones souvent négligées ou dégradées au départ. Plus encore, une meilleure gestion des réserves en eau réduit les risques d'échec et permet de cultiver de nouvelles cultures (notamment des fruits) ou d'initier de nouvelles activités économiques.

Il existe cependant d'autres bénéfices que ceux qui profitent directement aux utilisateurs des terres appliquant des mesures d'amélioration.

Il s'agit de bénéfices en aval (sédimentation moins perturbante, débits de base plus fiables, niveau des nappes souterraines plus élevé) qui profitent aux populations et aux organisations situées sur d'autres parties du territoire. En ce qui concerne les barrages de retenue (voir l'exemple de Maharashtra décrit au Chapitre 3), leur bénéfice est même visible en amont, puisqu'ils contribuent à la montée des eaux dans les puits. Il existe également des bénéfices indirects, qui profitent à tout le monde, même à ceux situés à l'extérieur du bassin versant : stabilité et sécurité générales, biodiversité des écosystèmes et séquestration du carbone. La Figure 1 résume les bénéfices majeurs. Pour profiter de ces bénéfices et les mettre au centre des investissements, il convient de disposer d'un ensemble de mécanismes et de modèles de gestion qui sont décrits au Chapitre 5.

Si l'on considère les coûts et bénéfices, il est aussi extrêmement pertinent de travailler à l'échelle. C'est l'expérience qui a été faite au Niger et au Burkina Faso (reverdissement), au Tigray en Éthiopie (conservation des sols et de l'eau) et en Chine (paillage de plastique). Le fait de travailler à l'échelle réduit les coûts, car cette méthode permet d'avoir de nouvelles chaînes d'approvisionnement, des connaissances et des compétences ayant une large base et globalement, de procéder à un changement des systèmes économiques. Le fait de travailler à l'échelle a également une

Tableau 1: Ordre de grandeur: coûts d'investissement (main d'oeuvre incluse) et bénéfices pour différentes méthodes de management a tampon 3R (USD)

Technique	Coûts par ha	Coûts par m <sup>3</sup> de stockage	Coûts globaux	Principaux bénéfices	Bénéfices globaux
Paillage	900-1 200 (plastique)		30-200 (organique)	Le rendement augmente avec un facteur 2-4 (plastique)	Infiltration accrue, érosion réduite, humidité du sol accrue
Contours de niveau	75-250			Le rendement augmente avec un facteur 4-18	
Terrasses	275-2 700			Le rendement augmente avec un facteur 4-18	Débits de base constants, érosion réduite
Pâturage intensif	10 -1 000			Taux de charge 2-8 fois supérieur	Amélioration des zones tampons
Collecte d'eau à partir des toits		10	335-2385	3-90 m <sup>3</sup> d'eau	Stockage stratégique
Monkey cheeks		3,4-10,2			Stockage stratégique
Barrages souterrains	240	0,35-1,4	1 576	8 282 m <sup>3</sup> eau	Stockage dans le lit et sur les rives des cours d'eau
Barrages de sable		1,79	5 380	3 000 m <sup>3</sup> eau	Stockage dans le lit et sur les rives des cours d'eau
Barrages de retenue de sédiments		0,075	60 000	Le rendement augmente avec un facteur 6-10	Réduit la sédimentation en aval
Épandage des eaux de crue	250-1 800			Le rendement augmente avec un facteur 2-5	Stabilise le paysage
Colmatage des ravines	140-200			400/ha/an	
Barrages en cascade		0,1 (eaux souterraines) 1,26 (surface)			Assure le niveau des nappes souterraines
Barrage semi-étanche			1 200		
Fosses de retenue	2 700			650/ha/an	Stockage dans le lit et sur les rives des cours d'eau
Puits tubés peu profonds			30-150		Accès plus sûr aux nappes souterraines

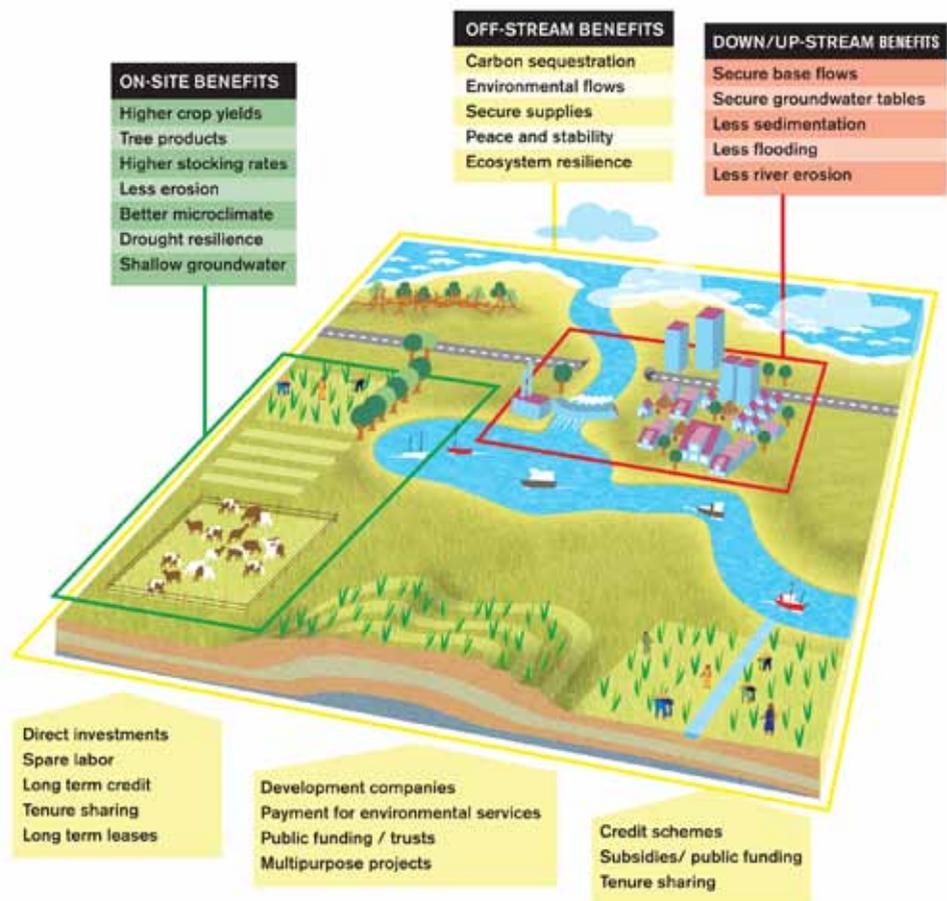


Figure 1: Principaux bénéfices découlant de la gestion des zones tampons

incidence sur les bénéfices, changeant de manière significative les microclimats, les processus de sédimentation et créant des zones tampons sûres. Le fait de travailler à l'échelle est particulièrement important pour obtenir des bénéfices en aval et hors site (meilleurs débits de base, nappes souterraines accessibles, meilleure séquestration du carbone). En général, des paysages améliorés dans le cadre d'une gestion intégrée sont moins vulnérables au changement climatique et aux autres calamités. Surtout, il se produit un effet d'échelle capable d'engendrer une nouvelle échelle et de meilleures pratiques de gestion des terres et des ressources en eau, dont les effets significatifs sont tels qu'elles deviennent la règle et sont intégrées dans les habitudes, au lieu de se limiter à une innovation condamnée à demeurer une exception.

## Références

FAO (2011). Aquastat - database on investments cost in irrigation [online database] Available at: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/investment/index.stm> [accessed on July 28 2011].

WOCAT 2007: where the land is greener - case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. Editors: Hanspeter Liniger and William Critchley.

Le Tableau 2 est basé sur les références suivantes:

Nissen-Petersen, E. (2006). Water from dry riverbeds (p. 60). Kenya: DANIDA.

Nissen-Petersen, E. (2007). Water from roofs. Kenya: DANIDA

Steenbergen F. van and A. Tuinhof. (2009). Managing the Water Buffer for Development and Climate Change Adaptation. Groundwater recharge, retention, reuse and rainwater storage. Wageningen, The Netherlands: 3R Water Secretariat.

Vavrina CS, R. F. (2000). Comparison of Plastic Mulch and Bare-ground Production and Economics for Short-day Onions in a Semitropical Environment, 1–5.

WOCAT 2007: where the land is greener - case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. Editors: Hanspeter Liniger and William Critchley.

Yellow River Website [online database] Available at: <http://www.yellowearth.net> [Accessed on: August 25 2011].

## 5. Modèles de gestion

### Défis spécifiques

Les défis financiers relatifs à la gestion des zones tampons découlent de ce qui précède. En premier lieu, certains investissements mettent du temps à produire des résultats. En second lieu, les bénéfiques ne profitent pas nécessairement uniquement aux investisseurs. Certains bénéfiques significatifs s'observent également en amont et en aval.

Le premier défi d'ordre financier est lié à la longueur des périodes de récupération. Dans de nombreux cas, la récupération est importante, mais les retours ne sont pas immédiats. C'est un cas classique qui nécessite de combler le fossé par des crédits à long terme. Néanmoins, dans les pays en développement, la plupart des mécanismes de financement, y compris ceux concernant la microfinance, ne fournissent que des crédits à court terme. Les pertes de change et la perception d'un risque d'instabilité empêchent la mise en place de modalités de financement à long terme. Pendant des décennies, les termes de l'échange dans l'agriculture se sont détériorés, rendant l'investissement dans la gestion des terres agricoles peu attractif. Heureusement, la tendance s'est renversée et la perspective d'une « croissance verte » dans l'agriculture s'annonce plus prometteuse que jamais.

En l'absence de mécanismes de financement à long terme, les investissements faits dans le domaine de la gestion des zones tampons ont souvent été financés par l'un des procédés suivants:

- Fonds et subventions publics. Les programmes « Filets de sécurité » et les programmes de gestion des bassins versants ont constitué les sources principales de financement des programmes d'amélioration du paysage.
- Économies de main d'œuvre. Les exploitants agricoles investissant dans l'amélioration des terres, des puits de recharge ou le boisement, ont utilisé leur propre main d'œuvre. Le reverdissement du Niger, par exemple, a été principalement entrepris par des exploitants qui se chargèrent d'assurer la protection des arbres qui poussèrent naturellement à la suite de la mise en place des programmes d'aménagement de cordons pierreux. Ils le firent en hors saison avec une main d'œuvre représentant un coût d'opportunité faible ou même nul.
- Revenus d'appoint. Les versements ou revenus provenant d'autres activités ont été utilisés pour payer le montant des investissements nécessaires. L'aménagement des terrasses Fanya juu à Machakos au Kenya fut en grande partie financé par des revenus d'appoint. Cela vaut également pour la série de barrages de stockage en terre développés au Yémen avant 1991, ceux-ci ayant été en majorité financés par les versements effectués par des travailleurs migrants.

Un second défi a trait à l'ampleur de la gestion des zones tampons : l'utilisation des sols et de l'eau sur un site influe sur la disponibilité en eau, la sédimentation et les climats locaux, et donc sur le paysage d'autres régions. Ces effets « en aval »<sup>1</sup> ou secondaires peuvent intervenir localement ou

---

1 L'expression effet en aval peut être trompeuse, en particulier lorsqu'elle concerne la disponibilité en eaux souterraines. Le cas des barrages de retenue du Maharashtra constitue un exemple éminent d'effet en amont. availability. The case of the retention weirs in Maharashtra are a prime example of upstream impact.

dans tout le paysage. Pour accélérer les investissements dans la gestion des ressources naturelles, deux concepts furent développés : celui de Paiement des services environnementaux (PSE), – et celui de paiement pour des services de protection des bassins versants (PWS). Dans le cadre de ces programmes, les utilisateurs des terres sont rétribués pour les services environnementaux qu'ils rendent, de préférence par les bénéficiaires de ces services (Voir aussi le Chapitre 4). L'exemple des barrages de rétention de sédiments (Chapitre 3) suggère que l'investissement privé en faveur de l'interception de sédiments pourrait fonctionner, à condition qu'une rétribution adéquate soit envisagée. Cependant, en dépit des efforts déployés, l'idée d'un paiement des services environnementaux (conservation des bassins versants) n'est pas parvenue à prendre un véritable essor (Porras et al, 2008). Les raisons sont multiples :

- Le Paiement des services de conservation des bassins versants (PWS) implique des transactions complexes. L'évaluation des services rendus par une partie à une autre et la mise en place du mécanisme de paiement correspondant constituent un défi évident. Les coûts de transaction peuvent être élevés. La notion de service peut être floue. Il n'est pas toujours possible d'attribuer un service environnemental à un bienfaiteur et à un bénéficiaire dans une période de temps déterminée, et il est souvent difficile de quantifier le bénéfice. En fait, ces programmes de rétribution se sont surtout révélés prometteurs là où ils sont réalisés sur une échelle plus large et plus globale, et non lorsqu'il s'agit de transactions effectuées entre simples utilisateurs qu'il est presque impossible de quantifier.
- Ces programmes (PWS) supposent l'existence d'une partie disposant des moyens financiers nécessaires pour payer les services environnementaux, par exemple une ville, une centrale hydroélectrique ou une grosse entreprise agroalimentaire. Celles-ci ne sont pas toujours



Figure 1: Les plantations de théiers ont souvent été considérées comme favorisant la retenue de l'eau et servant de tampon contre le défrichement des forêts dans les zones 'réservoirs d'eau' - combinant développement et protection.combining development and protection.

### Encadré 1 : Crédits Eau Verte au Kenya.



Figure 2: Bassin du Tana, Kenya (Crédit photo: MetaMeta)

Le bassin de la rivière Tana, situé dans le sud-est du Kenya, couvre une superficie de 126 028 km<sup>2</sup>. Le bassin supérieur est formé de l'Aberdare et de la chaîne de montagnes du Mont Kenya. La culture pluviale du thé, du café et du maïs est commune dans ces régions de fortes précipitations. Le café et le maïs, en particulier, entraînent l'érosion des sols, car la couverture végétale est faible. Les terres les plus basses et les plus sèches du bassin sont

utilisées prioritairement comme parcours, mais on y trouve également de grands utilisateurs d'eau. Dans le bassin de Tana, il s'agit des cinq centrales hydroélectriques dirigées par KenGen (Kenya Electricity Generating Company Limited).

Ces centrales fournissent entre 40 et 64 % de la demande nationale. Le service d'approvisionnement municipal en eau est le deuxième plus grand utilisateur. Il est géré par la Nairobi Water Company (NWC). La capitale reçoit trois quarts de ses besoins en eau de Ndakaini et de deux autres réservoirs situés dans le bassin hydrographique du fleuve Tana. Des prévisions font état d'une rapide croissance (6 % par an) de la demande en eau des réseaux municipaux. Le troisième utilisateur est l'irrigation, dont les plans représentent un total de 68 700 hectares. En complément de ces utilisations liées à la consommation, on a également besoin dans la zone du delta d'un débit de base suffisant pour pouvoir préserver la mangrove et les zones de récifs situées près de la Réserve marine nationale de Kiunga. La combinaison de fortes précipitations dans le haut bassin et d'une agriculture touchée par l'érosion et la présence en aval d'importants utilisateurs (dont la demande croît) justifie la mise en œuvre du Fonds de financement des Crédits Eau Verte. Une meilleure gestion de l'humidité des sols par les exploitants situés en amont, par exemple au moyen de paillage, de pratiques de labour antiérosives, de billons cloisonnés et de terrasses, conduirait à des rendements supérieurs pour lesdits agriculteurs. En même temps, ces techniques permettent de réduire l'érosion, d'augmenter la recharge et de réguler les débits de base. De cette manière, la probabilité de crues dévastatrices (telles que celles de 2002) peut être réduite. Le contrôle des ruissellements et la réduction de l'érosion permettent également de diminuer les chargements de sédiments actuellement déposés dans les réservoirs des centrales hydroélectriques. Cela permet d'augmenter la durée de vie des réservoirs et de réduire les coûts de dragage et les dommages causés aux générateurs. Une telle gestion assurerait un approvisionnement durable à la capitale, Nairobi. Un débit de base supérieur pendant les mois de sécheresse (juin-octobre) fournirait plus d'eau au secteur de l'irrigation (permettant d'élargir la période de cultures) et garantirait des flux environnementaux au niveau du delta.

### Encadré 1 (suite)

Ces bénéfices ont été quantifiés et validés par les parties prenantes du bassin hydrographique du fleuve Tana dans le cadre du programme de Crédits Eau Verte, soutenu notamment par le FIDA. Les bénéfices d'une meilleure gestion des sols et de l'eau dans les hautes terres dépassent de loin les coûts (Figure 1). En résumé, même avec une couverture de 20 %, les bénéfices annuels en aval pour les installations hydroélectriques et l'approvisionnement en eau des villes s'élevaient à 6-48 millions de dollars US par an, alors que les coûts seraient de l'ordre de 0,5 à 4,3 millions. De plus, certains bénéfices n'ont pas été pris en compte dans ce calcul (augmentation de la production pour les agriculteurs de l'amont, réduction des dommages dus aux inondations, impact sur le delta et séquestration de carbone). Le seul problème est le coût de la phase de démarrage, susceptible d'avoisiner dix millions de dollars par an les cinq premières années – époque à laquelle les bénéfices ne se font pas encore sentir en aval.

Il est essentiel de développer un mécanisme qui permettra de financer de meilleures pratiques de gestion en faveur de l'eau verte dans le bassin supérieur. L'Equity Bank, une des principales banques du Kenya, conduira la démarche et assurera la gestion du Fonds Eau Verte. Ce fonds rend possible les transactions entre environ 150 000 agriculteurs situés dans le bassin supérieur et les parties se trouvant à l'aval – KenGen et NWC. Il est prévu qu'il soit à terme alimenté par les contributions des grands acteurs situés à l'aval, car ce sont eux qui tirent profit de la meilleure gestion des sols et de l'eau intervenant en amont. KenGen enregistre une hausse de sa production d'électricité (grâce à des débits de bases plus fiables) et une baisse de ses coûts de maintenance (réduction des dépôts de sédiments). En échange, l'Equity Bank fournit aux agriculteurs du bassin supérieur des moyens financiers leur permettant de mettre en œuvre les pratiques de gestion définies par le programme Eau Verte. Une partie des financements est utilisée pour développer la capacité organisationnelle





Figure 4: Plantation de bambou à usage commercial protégeant les cours d'eau, Chine (Crédit Photo: MetaMeta)

présentes dans les régions concernées. Dans de nombreux cas, les bénéficiaires en aval peuvent concerner un nombre important de petits exploitants marginaux qui n'ont pas les ressources nécessaires leur permettant de payer des services environnementaux et qui ne peuvent en faire une priorité.

- Dans ces programmes PWS, il est à craindre que l'économie occupe une place secondaire. Si l'accent est mis sur la nécessité de payer pour des services environnementaux directs, les opportunités économiques risquent d'être négligées.

Il existe cependant déjà des exemples de programmes PWS prometteurs. L'un de ces exemples – basé à la fois sur la présence d'acteurs majeurs, des investissements visant des bénéficiaires économiques directs et une simplification des transactions – concerne le Fonds Eau Verte développé pour le bassin de Tana au Kenya. La préparation de l'installation incluait une évaluation et une quantification des coûts et bénéfices de la gestion des terres en amont, une aide au démarrage des différentes parties et la création d'un mécanisme financier dans un organisme intermédiaire, en l'occurrence la plus grande banque du Kenya (Encadré 1).

### Modèles économiques spéciaux

Alors qu'il est essentiel de continuer à utiliser les mécanismes de financement ci-dessus, y compris les paiements des services de conservation des bassins versants (PWS), il est également important d'élargir la palette des modèles économiques permettant de promouvoir la gestion durable des zones tampons. Pour compléter ces mécanismes (subventions publiques ou privées et paiement des services environnementaux), il pourrait être opportun de recourir à des investissements locaux favorisant des opportunités d'affaires directement associées à la gestion durable des sols et de l'eau. Un tel mode de financement favoriserait la création d'emplois et de revenus et parallèlement l'amélioration des sols, de l'eau et de la végétation. Plusieurs mécanismes de ce type sont déjà en

place dans différentes régions. Il convient de les renforcer et de les développer. Vous trouverez ci-après quelques exemples illustrant ce point.

### Promouvoir les activités locales liées à l'eau et à la forêt

Certaines opportunités d'affaires locales relatives à la gestion des terres peuvent présenter le double avantage d'être financièrement viables et respectueuses de l'environnement. À Tihama au Yémen, une plantation privée de « charbon de bois » permet aux investisseurs privés de planter des acacias *ehenbergania* qui, arrivés à maturité, sont transformés en charbon de bois. Un sous-produit en est tiré, le qataran – un crésotamide qui soigne notamment les maladies de peau des animaux. Les plantations d'acacias favorisent la création d'entreprises locales et permettent de mettre un terme à la détérioration des acacias naturels de la région qui souffraient d'un abattage non contrôlé.

### Mise en place de sociétés d'amélioration des terres

Les entreprises d'amélioration des terres acquièrent les terres dégradées et investissent – parfois avec de l'argent public – dans l'amélioration desdites terres, avant de les louer ou de les revendre. Ce processus était habituel en Europe au début du XXe siècle. C'est ainsi que le Grontmy obtint de larges concessions de « terres incultes », améliora la gestion de l'eau, replanta les terres et parvint à dégager un profit de leur revente.

### Exploiter des bénéfices financiers « cachés »

Il existe de nombreuses valeurs « cachées » dans les systèmes de gestion des ressources qui ne sont



Figure 5: Grandes diguettes utilisées dans l'irrigation par épandage - aménagées par les codétenteurs des terres (Crédit photo: MetaMeta).

pas toujours exploitées au profit de la gestion durable des zones tampons, alors qu'elles pourraient générer de substantiels revenus. On pense par exemple au développement d'une propriété riveraine ou du caractère paysager d'un bien qui permettrait de capitaliser sur une valeur sinon inexploitée. Les revenus provenant de la vente d'une propriété riveraine peuvent être utilisés pour payer le montant des investissements consacrés à l'amélioration des systèmes de gestion de l'eau. On peut citer d'autres exemples, tels que les étangs de stockage d'eau utilisés pour les loisirs, la pêche ou d'autres activités, la plantation de haies pour préserver l'humidité du sol ou les sources de bois d'œuvre et de chauffe. La vente de terre « en surplus » pour sa réutilisation dans la construction de maisons, l'amélioration des terres ou d'autres emplois sont d'autres exemples de la création de revenus à partir d'autres bénéfices. Ces bénéfices indirects justifient souvent plus encore que les bénéfices directs le développement d'investissements plus importants en faveur de la transformation du paysage et de la gestion des zones tampons.

### Initier des baux à long terme dans les forêts locales

Les investissements réalisés sur le long terme peuvent aller de pair avec des économies à long terme. En Indonésie, des investisseurs des petites villes paient les agriculteurs des villages avoisinants pour planter et entretenir les arbres. À cette fin, un contrat simple est établi. Au moment de la récolte, les revenus tirés des arbres mûrs sont divisés entre le propriétaire et l'investisseur. Pour les petits investisseurs urbains, cet accord signifie des retours à long terme, et leur garantit un certain montant pour leur retraite ou la possibilité d'un investissement futur plus important (construction d'une maison ou dépenses liées à un mariage). Pour les agriculteurs, c'est la garantie de disposer d'un revenu stable.

Le même système a été reproduit dans le secteur bancaire de l'est de l'Ouganda. Les agriculteurs sont payés pour la plantation et l'entretien des arbres pendant la période de maturation. Lors de la récolte ou de l'abattage des arbres, la banque garde 70 % du bénéfice et les agriculteurs disposent des 30 % restants.

### Possession collective destinée à favoriser l'exploitation des terres

Traditionnellement, pour réhabiliter les terres incultes, les propriétaires fonciers des zones d'irrigation par épandage des eaux de crues, au Pakistan, avaient coutume de donner leurs terres à des fermiers « héréditaires » (bazgar marousi). Ceux-ci restauraient les terres et en particulier, créaient sur le pourtour du champ de grandes diguettes de protection essentielles pour pouvoir développer de nouveaux sols et maintenir l'humidité. En échange de ces services, les bazgar marousi devinrent codétenteurs de ces parcelles. Il s'agit toutefois d'une possession conditionnelle qui ne dure que durant le laps de temps où ils assurent l'entretien des champs et des diguettes. S'ils cultivent la terre eux-mêmes, ils reçoivent une part sensiblement plus importante de la récolte qu'un simple locataire, mais ils peuvent aussi louer la terre. Si le propriétaire foncier décide de vendre la terre, il a l'obligation de céder une partie du produit de la vente (en général 40 %) aux locataires héréditaires qui, de facto, agissent en qualité de copropriétaires à titre conditionnel.

#### Échange de droits fonciers

Ce modèle de possession collective des bazgar marousi a été appliqué sous une autre forme pour développer les systèmes très onéreux de puits horizontaux (qanats) dans le Baloutchistan

au Pakistan. Une équipe de spécialistes du creusement de qanats prenait contact avec une communauté en lui proposant d'aménager un puits dans la région. Si la réponse était positive, une partie des actions afférentes aux terres et à l'eau étaient transférées à l'équipe responsable du chantier.

Un transfert de propriété similaire devint également populaire en Gambie. Dans des zones propices à la riziculture, les grands propriétaires fonciers traditionnels (les « pères fondateurs ») furent incités à abandonner leurs titres de propriétés au profit des zones de terres incultes faisant partie du Programme de développement agricole des plaines du FIDA. Ces parcelles étaient ensuite transférées aux femmes qui les restauraient et les convertissaient en champs de paddy. Pour dédommager les « pères fondateurs », dans le cadre de l'infrastructure locale du projet, des routes et des digues de protection contre les crues furent construites, ce qui eut pour effet d'augmenter la valeur de l'ensemble des terres situées dans la région.

Il est possible de promouvoir de tels mécanismes et de les lier à des sources de capitaux à long terme provenant de fonds de pension ou d'investisseurs institutionnels désirant répartir leurs risques. Ces mécanismes doivent être peaufinés pour que les investissements produisent des dividendes réguliers à l'échéance, par exemple comparables aux exigences d'un fonds de pension. Cela peut nécessiter la définition d'une solution globale intégrant des mécanismes à court terme, par exemple des instruments de microfinance.

L'existence de conditions favorables est cruciale, et il est essentiel d'y consacrer du temps. Dans certains pays, les arbres sur pied ne peuvent être abattus officiellement – empêchant le développement de plantations destinées à la fabrication de charbon de bois, par exemple – alors que dans le même temps, le retrait incontrôlé de peuplements naturels se poursuit avec la même intensité. Dans d'autres régions, la propriété des puits et des arbres revient au propriétaire foncier, et non aux usagers qui souhaiteraient développer un puits de surface ou un peuplement d'arbres. Il faudrait réformer le régime de la tenure. Comme le montrent certains cas, cela est possible.

## Références

Holopainen, J. and Wit, M. eds. 2008. Financing Sustainable Forest Management. Wageningen: Tropenbos International..

IFAD. 2009. The Gambia: Land for Labour, INNOWAT Case Study. IFAD.

ISRIC. 2010. Geen Water Credits. Investment Guidelines.

Kerkhof, P. 2000. Local forest management in the Sahel: towards a new social contract. London: SOS-SAHEL.

Lamoree, G. and F. van Steenberg. 2005. From value to finance: making IWRM work. Journal of Contemporary Water Research and Education, 135, pp. 100-106.

Porras, I., Grieg-Gan, M. and Neves, N. 2008. All that glitters: a review of payments for watershed services in developing countries. London: IIED.

# Annexe

Tableau 1 Coûts d'établissement et de maintenance des techniques de conservation des sols et de l'eau

Technique	Pays	Coût totaux d'établissement/ha (USD)	Coûts totaux de maintenance/ha (USD)
<b>Agriculture de conservation</b>			
Pas de travail de la terre	Maroc	600	400
Agriculture de conservation	Royaume-Uni		
Travail de la terre à petite échelle	Kenya		93
Technique du semis direct, passages contrôlés	Australie		111
Couverture verte	Australie		543
<b>Fumure, compost</b>			
Lombriculture	Nicaragua	122	60
Compost combiné avec des trous de plantation	Burkina Faso	12	30
Andains de niveau améliorés	Ouganda		30
Bandes/couverture végétales			
Bandes végétales naturelles	Philippines	84	36
Couverture verte dans les vignes	Suisse	15 000	2 300
Lignes de vétiver	Afrique du Sud	140	25
<b>Agroforesterie</b>			
Brise-vent sur les terres agricoles à sols sableux	Chine	125	11
Système d'agroforesterie avec grevillea	Kenya	160	90
Arbres populaires pour le bio-drainage	Kirghizstan	920	30
Cultures en étages	Philippines	1 390	490
Système agroforestier intensif	Colombie	1 285	145
Café « cultivé à l'ombre »	Costa Rica	2 535	330
Conversion de pâturages en parcelles de fourrage et en vergers	Tadjikistan	2 690	570
Agroforesterie basée sur les vergers	Tadjikistan	550	210
<b>Collecte de l'eau</b>			
Structure creusée dans le lit des cours d'eau	Inde	240	5
Trous de plantation et cordons pierreux	Niger	245	35
Collecte des eaux de ruissellement avec rigoles d'infiltration pour les oliviers	Syrie		88
<b>Réhabilitation des ravines</b>			
Barrages avec segments de tiges	Nicaragua	190	35

Technique	Pays	Coût totaux d'établissement/ha (USD)	Coûts totaux de maintenance/ha (USD)
Contrôle des ravines et protection des bassins	Bolivie	110	16
Stabilisation des berges et protection contre les glissements de terrain	Népal	2 925	70
<b>Terrasses</b>			
Terrasses en gradins avec murets de pierre	Syrie	1 460	20
Réhabilitation d'anciennes terrasses	Pérou	1 400	125
Terrasses traditionnelles avec murets de pierre	Afrique du Sud	1 270	160
Terrasses Fanya juu	Kenya	320	38
Petites terrasses en gradins	Thaïlande	275	45
Vergers en terrasses avec couverture d'herbe de Bahia	Chine	1 840	376
Terrasses de lœss du Zhuanglang	Chine	1 290	35
Rizières de paddy pluvial en terrasses	Philippines	2 700	40
Rizières en terrasses avec irrigation traditionnelle	Népal		840
<b>Gestion des pâturages</b>			
Pâturages écologiques	Australie	10	1
Restauration des parcours naturels dégradés	Afrique du Sud	230	32
Amélioration de la gestion des pâturages	Éthiopie	1 035	126
Zones interdites en vue de leur réhabilitation	Éthiopie	390	90
<b>Autres technologies</b>			
Stabilisation des dunes de sable	Niger	1 450	50
Traitement des zones forestières du bassin	Inde	400	50
Réhabilitation des mines à ciel ouvert	Afrique du Sud	212	37

Source:  
WOCAT 2007: *where the land is greener - case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide*.  
Editors: Hanspeter Liniger and William Critchley.  
Oldeman LR, Hakkeling RTA and Sombroek WG, 1991. *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. An Explanatory Note*.  
Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), October 1991. Second Revised Edition. Wageningen: ISRIC and UNEP.

BE BUFFERED

QUELQUEFOIS  
VOUS FAÎTES FACE  
À VOS SOLUTIONS  
SANS MÊME LE  
SAVOIR...

