

AVANTAGES DU STOCKAGE

COÛTS ET BÉNÉFICES DE LA CRÉATION DE ZONES TAMPONS

LA VALEUR
DES 3R!



Avantages du stockage

Coûts et bénéfices de la création de zones tampons

La photo en couverture correspond au plancher de l'une des premières banques en Chine, à Pingyao. L'image incrustée dans le sol représente une ancienne pièce de monnaie avec un carré au milieu, telle qu'elle était utilisée à partir de la dynastie des Qin. Les chinois croyaient autrefois que le ciel était rond et la terre carrée, d'où la forme de la pièce. Le carré du milieu représente également un puits, avec l'eau provenant de toutes les directions depuis la bordure. Les caractères visibles sur cette pièce signifient, de haut en bas, « centaine de ruisseaux », et de droite à gauche, « valeur monétaire ». L'ensemble de la pièce représente probablement le couvercle d'un puits lui-même et symbolise les avantages du stockage de l'eau.

Remerciements

Les principaux auteurs de cet ouvrage sont : Albert Tuinhof, Frank van Steenberg, Peter Vos et Lieselotte Tolk.

Nous remercions également les auteurs suivants pour leurs précieuses contributions : Abraham Abhishek, Chantita Setalpruk, Chris Reij, Greg Christelis, Jaap Evers, Hartmut Gaese, Kifle Woldegeray, Martin van Beusekom, Olaf Verheijen, Ralph Lasage, Ramon Brentführer, Robert Meerman, Seifu Kebede et Vanessa Vaessen.

L'édition du texte a été coordonnée par Lenneke Knoop. La couverture et les illustrations ont été conçues par MetaMeta. Les infographies ont été réalisées par Wijtze Valkema, du studio Pankra. Le présent ouvrage a été imprimé par Grafisch Service Centrum.

La réalisation de l'ouvrage n'a été rendue possible que grâce à la généreuse contribution du BGR (Institut fédéral de géosciences et de ressources naturelles) et de AquaforAll.



ISBN : 978-90-79658-05-3

Tuinhof, A., Van Steenberg, F., Vos, P. et L. Tolk. 2012. Avantages du stockage. Coûts et bénéfices de la création de zones tampons. (Profit from Storage. The costs and benefits of water buffering.) Wageningen, Pays-Bas : 3R Water Secretariat.

Préface

La Conférence Nexus de Bonn 2011 « La sécurité alimentaire, la sécurité énergétique et la sécurité en eau - Mettre en œuvre des solutions intégrées pour l'économie verte » a présenté l'approche de Nexus, se concentrant sur une meilleure compréhension des liens existant entre les différents secteurs tels que l'eau, l'énergie et la sécurité alimentaire. Même si des progrès ont été réalisés en vue d'atteindre les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), de nombreux services de base n'ont toujours pas été sécurisés pour une grande partie de la population mondiale. Environ 0,9 milliard de personnes ne dispose toujours pas d'un accès à l'eau pour leurs besoins de base. Davantage encore n'ont toujours pas accès à une eau salubre. 2,6 milliards sont privés d'accès à l'assainissement, et près de 1 milliard sont toujours sous-alimentés.

Nos ressources mondiales en eau sont affectées par des facteurs différents, notamment le changement climatique. Parallèlement, une population en constante croissance exerce une contrainte énorme sur ces ressources, en particulier en ce qui concerne la demande agricole. Nous approchons, et dans certains cas, avons déjà dépassé, les limites durables de la disponibilité des ressources. Nous devons par conséquent développer des solutions plus innovantes, nous permettant d'atteindre des modes de consommation et de production durables, mais également de distribuer les ressources naturelles d'une manière équitable.

Bien que les prévisions climatiques concrètes soient sujettes à l'incertitude, nous devons agir maintenant. Les stratégies d'adaptation sont nécessaires pour éviter des conséquences dévastatrices, telles que des sécheresses et des famines cycliques, en particulier dans la Corne de l'Afrique et la région du Sahel.

L'une des réponses apportée aujourd'hui prend forme dans la récupération et le stockage de l'eau lors les périodes humides, dans le but de disposer des ressources nécessaires pendant les saisons sèches. Perçu comme un élément de la solution, le stockage de l'eau sous forme de réserve représente une stratégie pertinente, compte tenu de la variabilité croissante du climat, en particulier de la fréquence accrue d'événements extrêmes, tels que les tempêtes et les sécheresses. L'infiltration à travers le sol et les précipitations constituent une forme d'alimentation naturelle. La gestion de zones tampons représente un atout environnemental favorisant les systèmes d'alimentation naturelle, en stockant les excédents des eaux souterraines dans un endroit protégé contre l'évaporation, et habituellement mieux sécurisé face à la pollution. De là, elles peuvent être pompées à nouveau pendant les saisons sèches.

Ainsi, la gestion de zones tampons peut fournir des solutions adaptées localement, améliorant la résilience des communautés, mais également leur environnement, face à la variabilité du climat et à l'insécurité alimentaire, à la fois à l'échelle locale et du bassin. Cette approche s'avère complémentaire aux principes de la Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), au moyen d'une gestion responsable de l'eau et des sols. Elle présente également un exemple concret de « l'Anthropocène » (Paul Crutzen). Dans un monde qui est fortement influencé par les activités humaines, les humains sont à la fois les moteurs du changement, mais également touchés par ces changements. Cependant, ils peuvent, et doivent devenir de plus en plus, une partie de la solution.

Dans un « monde en danger », les économies locales, souvent caractérisées par une résilience limitée, sont particulièrement exposées aux contraintes. Dans ce contexte, diverses analyses coûts-bénéfices (ACB) concernant la gestion de zones tampons dans de nombreuses régions du monde, à la fois dans des pays arides et humides, ont montré que non seulement ces solutions ont un impact positif sur la disponibilité de l'eau, mais elles renforcent également la rentabilité économique. Ces gains résultent d'un meilleur accès à l'eau potable lors des périodes sèches, à la fois à des fins de consommation d'eau potable, mais également pour l'irrigation, par exemple. Cette réalité entraîne ainsi une diminution de la malnutrition et permet aux populations de disposer de plus de temps pour s'adonner à des activités génératrices de revenus. Ainsi, une gestion rationnelle des zones tampons permet de maintenir l'eau dans le cycle et joue un rôle essentiel dans une gestion de l'eau et des sols plus durable, contribuant à la sécurité alimentaire, la génération de revenus et l'adaptation au changement climatique.

Cette publication présente des études ACB relatives à la création de zones tampons, illustrée à l'aide d'études de cas provenant de régions sèches et arides à travers le monde. Ces études proposent une méthode simple et facile d'utilisation pour établir le bien-fondé de l'argument d'une gestion rationnelle de l'eau et des sols.

Profitez des solutions existantes ! La gestion de zones tampons devrait être incluse de manière

plus précise dans la gestion des ressources en eau en particulier, mais également dans les stratégies nationales d'adaptation. Le rôle économique et social d'une bonne gestion de l'eau et des sols sera de plus en plus important pour éradiquer la pauvreté, lutter contre le changement climatique et améliorer la disponibilité en eau.

Prof. Dr. Klaus Töpfer

Ancien ministre allemand de l'environnement et ancien directeur exécutif du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), actuellement Directeur exécutif de l'Institut des études avancées sur la durabilité (Institute for Advanced Sustainability Studies - IASS), à Potsdam, en Allemagne.

Soutien

Je soutiens de tout cœur le message défendu par cet ouvrage. À la demande du Président, l'initiative des 3N « Les Nigériens Nourrissent les Nigériens » a été mise en place au Niger. L'idée apparaît dans son titre. Le Niger, qui se situe presque entièrement dans les zones climatiques du Sahel et du Sahara, compte cette année environ 5,5 millions de personnes exposées à la faim. Mais, indépendamment de la situation actuelle, le Niger a régulièrement souffert de crises alimentaires, et parfois de graves famines. La moitié nord du pays est désertique, tandis que le sud se trouve dans la ceinture sahélienne, où les pluies ne tombent que quelques mois seulement (3-4 mois) chaque année, lorsqu'elles ne manquent pas. La production nationale liée aux cultures vivrières essentielles et à l'élevage est inévitablement sujette à de grandes fluctuations d'une année à l'autre. Avec l'augmentation rapide de la population, l'insécurité alimentaire est devenue une réalité quotidienne, entraînant environ deux millions de personnes aujourd'hui en situation d'insécurité alimentaire chronique, avec une incapacité à répondre aux besoins alimentaires de base, même dans des conditions normales. La situation des enfants est particulièrement préoccupante. Un enfant sur cinq n'atteint pas l'âge de cinq ans. Les taux de malnutrition aiguë sont régulièrement classés au-dessus du 10% et la malnutrition chronique est également nettement au-dessus du seuil « critique » de 40%, atteignant 51% des enfants à l'échelle nationale, et dépassant 60% dans certaines régions.

Cette réalité est douloureuse, au regard de la capacité qu'avait le Niger à s'alimenter lui-même autrefois. Bien qu'étant un pays sahélien dont le revenu moyen par habitant se situe parmi les plus bas dans le monde, de nombreux facteurs nous poussent à croire que le Niger peut atteindre la sécurité alimentaire et éradiquer la malnutrition. Encore aujourd'hui, notre potentiel de stockage et d'utilisation de nos ressources en eau reste relativement peu mobilisé. Au Niger, seul 1% de l'eau de surface et 20% de l'écoulement des eaux souterraines sont utilisés. Le potentiel d'irrigation reste également largement inexploité, alors qu'il existe de nombreuses possibilités pour valoriser le stockage, la retenue et l'utilisation de l'eau dans les dépressions naturelles, les étangs et par d'autres moyens. Cette réalité doit évoluer. L'écologisation massive, engagée par les agriculteurs dans une grande partie du pays, ainsi que l'utilisation extensive réussie de fosses de plantation zai et de diguettes en pierre, souligne que le changement est possible. Notre élevage représente une richesse formidable, tant que le système de ressources naturelles qui le soutient est pris en compte. Le Niger possède une diversité de zones bioclimatiques et agro-écologiques, représentant un atout majeur à exploiter, au moyen d'une planification locale intelligente. Dernier point, mais non des moindres, le Niger voit sa production d'énergie augmenter, en raison de la hausse de la demande mondiale pour l'uranium nigérian, mais également grâce à la récente production commerciale de pétrole, au service des besoins nationaux et des marchés de l'Afrique de l'Ouest.

L'initiative des 3N « Les Nigériens Nourrissent les Nigériens », lancée cette année par le président démocratiquement élu, Mr. Issoufou Mahamadou, représente une vision, une volonté politique et un engagement pour atteindre rapidement une sécurité alimentaire durable pour le Niger et construire la résilience de ses habitants face aux chocs et aux crises. L'objectif de l'initiative des 3N vise à exploiter et utiliser les ressources en eau locales, en développant un grand nombre de systèmes d'irrigation et de structures de collecte de l'eau, mais également en favorisant un meilleur stockage des céréales et des abattoirs plus performants, grâce à l'amélioration de la formation agricole et la stimulation du crédit agricole (pour donner aux agriculteurs et aux éleveurs une réserve financière), l'introduction de nouvelles cultures (avec haute valeur nutritive) et l'amélioration de la recherche agricole. Nous espérons un rôle beaucoup plus important du secteur privé, que nous pensons possible, car il y a suffisamment d'opportunités à saisir dans l'amélioration de l'agriculture. Une liste d'objectifs pour le développement a été définie au niveau national, en gardant comme objectif sous-jacent la stimulation d'une culture locale proactive de planification et de mise en œuvre du développement, parce que nous restons convaincus que cette méthode augmentera les chances de voir les projets et initiatives soutenus sur le long terme. La stratégie des 3N vise à assurer un « kit » de développement de base ou une liste de contrôle des biens, des structures, des équipements et des services à tous les niveaux de la société locale.

Nous nous félicitons de cet ouvrage, car le contrôle de l'eau (irrigation, récupération de l'eau, gestion in situ de l'eau, etc.), au niveau des foyers et des villages, est au cœur de la stratégie des 3N. Les nombreux exemples, tels que l'épandage de crue pratiqué au Niger, montrent qu'il reste encore beaucoup à faire.

Cet ouvrage a également pour ambition de mettre en avant la solidité financière du développement de petites ressources d'eau ; nous appuyons son message, affirmant que les zones tampons représentent un moyen de sortir de l'insécurité alimentaire et de favoriser la résilience face aux cycles secs et humides.

Amadou Allahoury Diallo

Haut Commissaire à l'Initiative des 3N "Les Nigériens Nourrissent les Nigériens", Présidence de la République du Niger.

Amadou Allahoury Diallo

Haut Commissaire à l'Initiative 3N

"Les Nigériens Nourrissent les Nigériens"

Présidence de la République du Niger

Avantages du stockage

Coûts et bénéfices de la création de zones tampons

Préface	III	
Soutien	V	
1	Avantages du stockage : des réserves plus solides et des valeurs durables	2
1.1	Introduction	2
1.2	La réalisation de cet ouvrage	4
2	Création de zones tampons	7
2.1	Le concept des 3R	7
2.2	Différentes méthodes de stockage	8
2.3	La pratique de la gestion de zones tampons	13
2.3.1	Recharge des eaux souterraines	13
2.3.2	Amélioration de la rétention en eau des sols	17
2.3.3	Stockage dans des cuves et citernes fermées	20
2.3.4	Réservoirs d'eau de surface	24
3	Exécution à grande échelle	28
3.1	Différentes voies pour une exécution à grande échelle	28
3.2	Œuvrer systématiquement	30
4	Calcul des coûts et bénéfices de la création de zones tampons à grande échelle	34
4.1	Principes de base	34
4.2	Durée et dimension	40
4.3	Analyse de risque	41
4.4	Coûts et bénéfices économiques et financiers	41

5	Études de cas	46
5.1	Barrages de sable, Kitui, Kenya	48
5.2	Barrages de retenue en forêt, Pasak Ngam, Thaïlande	54
5.3	Karez améliorés, Qila Iskan Khan, Pakistan	60
5.4	Approvisionnement en eau à travers une gestion des systèmes de recharge des aquifères, régions centres de la Namibie	66
5.5	Création de bulles d'eau douce dans les eaux souterraines saumâtres, Bangladesh	72
5.6	Stockage d'eau douce dans les zones ayant des eaux souterraines salines, Tajamares, Chaco, Paraguay	78
5.7	Conservation d'eau douce avec drainage contrôlé, Pays-Bas	82
5.8	Recharge et fertilité des sols grâce au colmatage des ravines et l'utilisation de diguettes, Terai, Inde	88
5.9	Écologisation des paysages semi-arides - Barrages déversant, région du Sahel	94
5.10	Paillis de plastique (Biodégradable), Chine, Inde et États-Unis	98
5.11	Conservation des sols et de l'eau à grande échelle, Tigré, Éthiopie	104
5.12	Cuves de collecte des eaux de pluie, Amhara, Éthiopie	110
5.13	Mise en réserve de l'eau de source et en haute altitude, Andes, Pérou	116
5.14	Récolte de l'eau de pluie sur les toits et usages multiples de l'eau, Népal	122
6	Observations finales	128
Annexe I	Aperçu de la classification des techniques et avantages des 3R	130
Annexe II	L'approche en deux étapes vers la mise en oeuvre de techniques de 3R	132
Annexe III	Comparaison sélective des coûts et bénéfices pour chaque étude de cas	134
Annexe IV	Impacts de la sécheresse dévastatrice du Kenya, en 2000	136

1. Avantages du stockage : des réserves plus solides et des valeurs durables

1.1 Introduction

Cet ouvrage a pour ambition d'aborder les avancées relatives au stockage local de l'eau visant à assurer l'accès à l'eau potable et la sécurité alimentaire. Bon nombre d'exemples à travers le monde montrent qu'une gestion rationnelle de l'eau et des sols peut s'avérer être rentable et que des profits considérables peuvent être réalisés à partir du stockage local de l'eau. Un certain nombre de ces exemples sont donnés dans cet ouvrage, avec un aperçu de la méthodologie, à la fois technique et financière, afin d'optimiser l'utilisation des zones tampons.

Les avantages relevant du stockage de l'eau au sein d'un même paysage sont souvent négligés. Il existe néanmoins un large éventail de mesures relativement modestes qui, lors d'une mise en œuvre à une échelle intégrée du paysage, peuvent faire la différence entre une zone qui est vulnérable à la sécheresse, au ruissellement et à l'érosion, ou un paysage très productif. Toujours à l'échelle d'un foyer, le concept de zones tampons peut fournir des avantages considérables. Pour les agriculteurs et autres utilisateurs des terres, par exemple, l'accès à des zones tampons saines les expose à moins de risques. La présence d'une véritable banque de l'eau (voir aussi la couverture de cet ouvrage), favorise une meilleure initiative entrepreneuriale, mais également la réalisation d'investissements pour l'amélioration de leurs conditions de vie.

Cet ouvrage tente d'élargir les connaissances sur la mise en réserve de l'eau, en analysant en particulier les coûts et les bénéfices du stockage local de l'eau. La gestion de zones tampons offre un certain nombre d'avantages directs, notamment un accroissement de la production en assurant



Figure 1. La création de zones tampons apporte de multiples avantages. Dans la ville semi-aride de Machakos, au Kenya, les pêcheries locales se sont développées en utilisant l'eau retenue dans les barrages de sable (Photo : Bancy Mati).

Encadré 1 : Exemples de coût économique de la sécheresse

- Les agriculteurs comptent les pertes liées à la sécheresse de 2011 en Argentine à hauteur de 2,5 milliards de dollars US, soit 94 dollars US par ha. pour le soja et 167 dollars US par ha. pour le maïs ;
- La perte liée aux cultures et au bétail pendant la sécheresse récente au Texas est estimée à près de 8 milliards de dollars pour 2011 ;
- Les coûts directs et indirects de la sécheresse de 2007-2008 en Catalogne (Espagne) ont été estimés à 1,6 milliards de dollars pour une période d'un an ;
- La sécheresse de 2006-2007 en Australie a réduit le PIB de 1%. Le PIB agricole a chuté d'environ 20% ;
- La sécheresse de 1999-2000 au Kenya a affecté presque tous les secteurs économiques. Il en est résulté une baisse de 1,4% du PIB en 1999 et de 0,7% en 2000, entraînant la hausse de l'inflation de 7,6% à 9,8%.

Sources: A. Markandya and J. Mysiak: The economic costs of droughts in Options Méditerranéennes, A no. 95,2010 - Economics of drought and drought preparedness in a climate change context <http://blogs.ft.com/beyond-bricks/2012/01/23/argentinias-drought-counting-the-costs/#axzz21APS9Em7>
Economic cost and consequences of drought. Basic Center for Clamate Change BC <http://www.iamz.ciheam.org/nemedca/istanbul2010/presentations/S2-Markandya.pdf>

la rétention en eau du sol, ainsi qu'une disponibilité de l'eau et un meilleur accès à l'eau potable. Elle stimule alors une meilleure résilience : c'est-à-dire la capacité à faire face à la variabilité et aux circonstances incertaines. Ces dernières peuvent inclure des phénomènes de sécheresse, des années exceptionnellement humides, des années avec des pluies intempestives ou des températures anormales.

La nécessité de résilience augmente avec les phénomènes de changements climatiques, ces derniers provoquant une plus grande variabilité dans les précipitations, mais également des périodes de sécheresse plus prononcées. Certains des coûts monétaires potentiels de la sécheresse sont donnés dans l'encadré 1. La dégradation des terres et l'épuisement des précieuses ressources en eau restent des questions mondiales essentielles. Il reste néanmoins une grande partie du monde où la situation s'améliore¹. De nombreux exemples de transformations réussies existent, déclenchées par des initiatives d'utilisateurs de terres, par les collectivités locales ou par des projets dédiés. Un éventail de pratiques décentralisées pour le stockage local de l'eau peuvent faire une différence, et la plupart de ces techniques ont le potentiel d'être mises en œuvre dans de nombreuses régions autres que celles où elles sont appliquées aujourd'hui. Ces techniques, procurant de meilleures zones tampons au moyen de la Recharge, la Retenue et la Réutilisation, sont résumées sous la rubrique des 3R (encadré 2).

1 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 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%).

Encadré 2 : 3R = Recharge, Retenue et Réutilisation

L'approche des 3R permet de gérer la zone tampon au moyen de la recharge, la retenue et la réutilisation. L'idée est de créer de solides zones tampons et d'étendre la chaîne de l'eau.

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.

1.2 La réalisation de cet ouvrage

Cet ouvrage souligne la nécessité d'investir davantage dans les 3R pour assurer l'accès à l'eau potable et la sécurité alimentaire. Cette approche bénéficiera particulièrement aux populations pauvres, dont un grand pourcentage est engagé dans l'agriculture, l'élevage ou la pêche, secteurs dépendant des pluies. Cet ouvrage a également pour ambition de convaincre les bailleurs de fonds bilatéraux et multilatéraux d'approfondir la réflexion sur l'idée suivante : au regard des grands bénéfices économiques potentiels de la gestion de zones tampons, il devient approprié de diriger les investissements dans les paysages résilients, mais également pour favoriser un meilleur stockage. Cette orientation peut aussi être une bonne alternative à l'élaboration de barrages réservoirs de grande surface, qui sont considérés aujourd'hui par certains comme la principale réponse face aux pénuries d'eau et aux effets sur le climat.

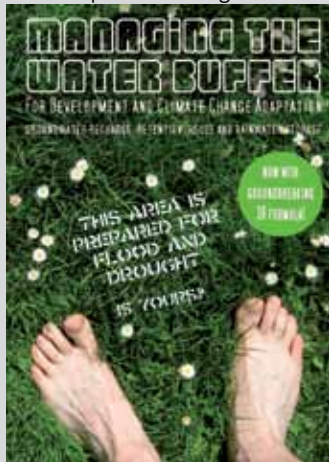
Nous espérons que l'analyse systématique des coûts et bénéfices de l'amélioration des zones tampons favorise une meilleure quantification et planification, et nous soutenons que les investissements dans les méthodes des 3R doivent suivre les investissements dans les infrastructures routières ou portuaires, ou les systèmes d'irrigation. De nombreux exemples montrent que ces investissements peuvent s'avérer être économiquement et financièrement rentables, bien que les possibilités d'amélioration relatives à la création de zones tampons varient de région en région. Un certain nombre de ces exemples ont été présentés dans les ouvrages précédents relatifs aux 3R « La gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique » et « Transformer les paysages, transformer les vies », et de nouvelles études de cas s'ajoutent à cette publication.

Cet ouvrage comprend cinq chapitres. Le deuxième chapitre aborde le stockage local, représentant un concept central dans la création de zones tampons. Différents types de stockage sont analysés et reliés au coût et au type de bénéfice et de résilience qu'ils entraînent. Une attention particulière est également portée aux autres bénéfices, liés par exemple à la biodiversité ou la gestion des sédiments.

Le chapitre 3 présente la mise en œuvre à grande échelle. Un des principaux enseignements tiré

Encadré 3 : Les ouvrages précédents sur les 3R

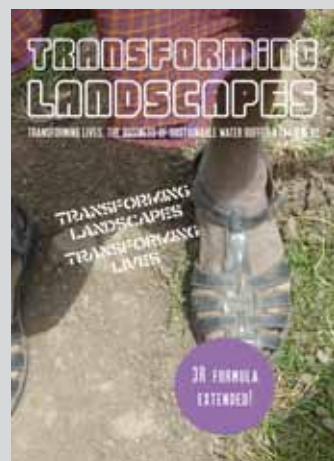
Le concept relatif à la gestion de zones tampons à grande échelle a été introduit dans



l'ouvrage « La gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique » (2009). Cet ouvrage décrit le contexte général du concept des 3R, avec 19 exemples illustrant l'application à différentes échelles de techniques relatives aux 3R. Le thème du deuxième ouvrage concernant les 3R « Transformer les paysages, transformer les vies : le rôle de la gestion durable des zones tampons » (2011) analyse le stockage de l'eau comme la clé de la sécurité alimentaire et de la

production alimentaire.

Atteindre la sécurité alimentaire exige, non seulement une disponibilité de l'eau, mais aussi son intégration avec la gestion des sols et des pratiques agricoles. Cet ouvrage décrit les liens entre la gestion des sols et des zones tampons et l'analyse de rentabilisation sous-jacente. Comme le premier ouvrage relatif aux 3R, il comprend également un certain nombre d'études de cas à travers le monde entier, afin d'illustrer les différentes échelles de gestion du paysage et des zones tampons, à travers des exemples d'approches innovantes à la fois dans des pays arides et humides.



des différentes études de cas est que la mise en œuvre de différentes mesures de stockage local à haute densité dans un paysage ou un sous-bassin favorise la résilience, mais également des impacts toujours plus forts. Cela provoque un effet multiplicateur et permet la réalisation de bénéfices plus importants, contrairement à des interventions ponctuelles. La transformation des paysages à grande échelle entraîne des modifications sur les processus macro, mais également en termes d'hydrologie, de microclimat, et d'économie. Le chapitre 3 propose différentes options visant à renforcer le soutien des utilisateurs locaux de terres et autres parties prenantes, en se basant sur les priorités et les possibilités locales.

Le chapitre 4 élabore une approche pour le calcul des coûts et bénéfices relatifs à la gestion de zones tampons, permettant d'ouvrir la voie à un financement plus intense. Des zones tampons plus performantes et des paysages plus résilients offrent plusieurs avantages. Ils génèrent directement les bénéfices au champ (une production plus importante), mais également à l'échelle du bassin (moins d'érosion, des débits réglementés) et à plus grande échelle (séquestration du carbone, des micro-climats plus cléments).

Une plus grande résilience réduit également les coûts liés à une sécheresse ou une période exceptionnellement humide. Ces coûts sont comparés avec les coûts et bénéfices de la réalisation des travaux, c'est à dire la différence entre les coûts économiques (pour la société dans son ensemble) et les coûts financiers (du point de vue d'un investisseur).

Enfin, le cinquième chapitre met en avant de nombreuses études de cas. Ils offrent une présentation des coûts et bénéfices du stockage dans des situations spécifiques. Chaque étude de cas décrit les techniques des 3R en un mot, leurs applications dans le contexte local particulier, leurs coûts et bénéfices, ainsi que les modalités de financement. Les modalités d'application, les facteurs de réussite et les difficultés sont également analysés.

Pour terminer, le dernier chapitre 6 de ce livre donne quelques remarques finales.

2 Création de zones tampons

2.1 Le concept des 3R

«Aucune goutte d'eau tombée du ciel ne doit retourner à la mer sans avoir été mise au service de l'homme» (Parākramabāhu I, souverain du Sri Lanka de 1153 à 1186).

Dans de nombreuses régions dans le monde, les populations connaissent des périodes de pénurie d'eau, alors même qu'on y enregistre des précipitations et un ruissellement annuels suffisants. Alors même que l'eau est abondante, il n'est pas rare de voir une grande partie de celle-ci disparaître, au travers des inondations, des eaux de ruissellement et de l'évaporation. L'essence même de la zone tampon vise donc à mieux gérer la recharge naturelle, tout en retenant l'eau plus longtemps. De cette manière, les quantités d'eaux de ruissellement, mais également l'évapotranspiration, peuvent être réduites. Pour faire face à une crise locale de l'eau, l'idée générale consiste à stocker l'eau lorsqu'elle est abondante plutôt que de redistribuer des réserves en eau rares, pour la rendre disponible en période sèche, et ainsi étendre la chaîne d'utilisation de l'eau. Le stockage représente ainsi le concept central.

Le stockage est souvent associé à de grands réservoirs de surface et des méga-barrages. Les 3R représentent un concept alternatif - utiliser de nombreux systèmes plus petits et stocker l'eau dans le paysage. Le stockage de l'eau reste bien souvent invisible : il a lieu dans le sol - dans la partie supérieure du sol, dans la zone non saturée, ou en dessous de la nappe phréatique (la zone saturée). L'eau peut également être stockée dans de nombreux systèmes de surface de petite taille (figure 2).

La mise en place du stockage décentralisé présente plusieurs avantages par rapport aux grands barrages. Premièrement, et c'est le point le plus important, les différents contextes géographiques et environnementaux de subsistance dans lesquels peuvent être appliqués les solutions 3R sont vastes et quasi universels - dans les zones arides et dans des zones humides, dans une topographie vallonnée, ou encore des basses terres sans relief. Deuxièmement, le stockage dans le profil du sol ou dans les aquifères n'entraîne pas de perte d'eau par évaporation comme c'est le cas dans

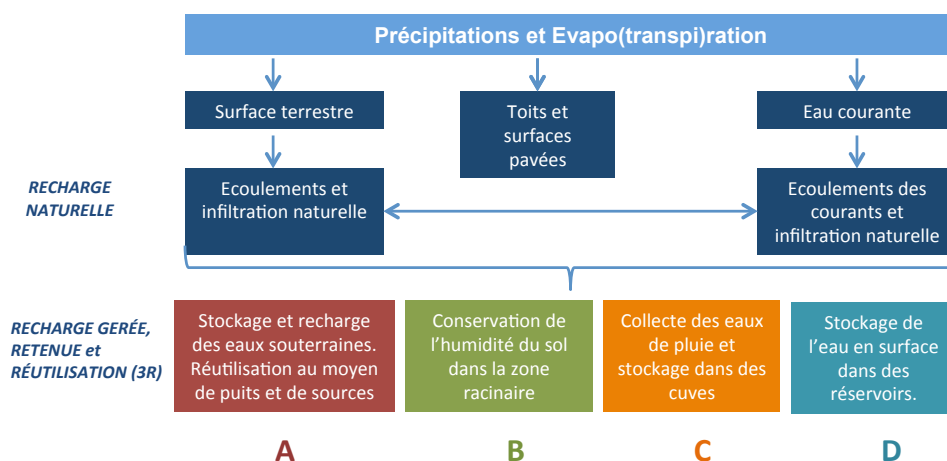


Figure 2. Le concept des 3R en résumé.

les grands réservoirs de surface. Troisièmement, de nombreux réservoirs de surface sont affectés par la sédimentation qui, au fil du temps, réduit leur capacité. En revanche, dans le cadre d'un stockage de l'eau dans le sol ou dans de petits réservoirs, la sédimentation ne pose généralement pas de problèmes et les dépôts du sol peuvent même se révéler positifs, du fait qu'ils améliorent la fertilité. Enfin - différemment des grands réservoirs - les nombreux petits systèmes de stockage décentralisés ne perturbent pas le milieu lorsqu'ils sont implantés, mais ajoutent de la valeur aux moyens d'existence déjà présents dans la région. Ces quatre arguments ne sont pas destinés à affirmer l'inutilité des grands barrages, mais bien qu'il existe une alternative performante et universelle, ayant besoin de plus d'attention qu'elle n'en reçoit actuellement.

2.2 Différentes méthodes de stockage

Le stockage dans les systèmes 3R adopte une multitude de formes et de tailles. Les avantages que l'on peut retrouver dans les différents types de systèmes de stockage diffèrent, tout comme les coûts. Par exemple, la quantité liée aux pluies, aux eaux de ruissellement ou à la fonte des neiges pouvant être interceptée, la durée de conservation, ainsi que les autres avantages dépendant du système.

Pour donner un aperçu des différentes techniques, les solutions 3R sont classées sur la base de la méthode de retenue et de recharge - la manière dont l'eau est interceptée et où elle est ensuite canalisée (figure 3). Concernant la méthode de **retenue** et de **recharge**, quatre principales catégories d'options de zones tampons sont distinguées (voir aussi figure 3) :

Les nappes phréatiques représentent un stockage « fermé », la quantité de pertes par évaporation est donc beaucoup plus petite que dans un stockage ouvert (à l'air libre). Elles permettent de stocker de grandes quantités d'eau ; plus de 90% de l'eau douce mondiale (glace et neige exclus) est stockée sous forme d'eau souterraine. L'eau n'est cependant pas directement disponible et les puits, avec ou sans pompe, se révèlent nécessaires pour accéder à l'eau. L'avantage de ce stockage souterrain est qu'il permet une filtration de l'eau, et peut donc en améliorer sa qualité. Toutefois, la présence d'éléments polluants dans le sol peut entraîner de possibles risques de contamination de l'eau. Une bonne sélection du site s'avère donc très importante.

L'humidité des sols présente des avantages comparables au stockage souterrain, représentant un type de stockage relativement « fermé », avec moins de pertes par évaporation en comparaison avec un stockage de l'eau ouvert. L'eau est stockée dans la partie supérieure du sol, laquelle coïncide avec la zone racinaire. Cette eau est par conséquent retenue dans le sol et disponible à l'endroit même où elle est utilisée par les cultures. Elle ne nécessite aucun transport pour les usages agricoles et la conservation de la nature. Une partie de cette eau peut percoler plus profondément et recharger localement la nappe phréatique.

Le stockage en cuve fermée (ou citerne) offre une méthode de stockage salubre de l'eau, proche de l'endroit où elle est utilisée comme eau potable. Le volume des cuves reste toutefois limité et par conséquent, le niveau d'utilisation est relativement faible, généralement limité à la fourniture d'eau potable pour la consommation humaine ou pour le bétail. Il convient en outre d'y ajouter les éventuels risques pour la santé, engendrés par une trop longue présence de l'eau dans le réservoir. Dans les cuves légèrement plus grandes, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation d'appoint.

- A** Stockage des eaux souterraines
- B** Stockage de l'humidité du sol dans la zone racinaire
- C** Stockage fermé de l'eau en surface
- D** Stockage ouvert de l'eau en surface

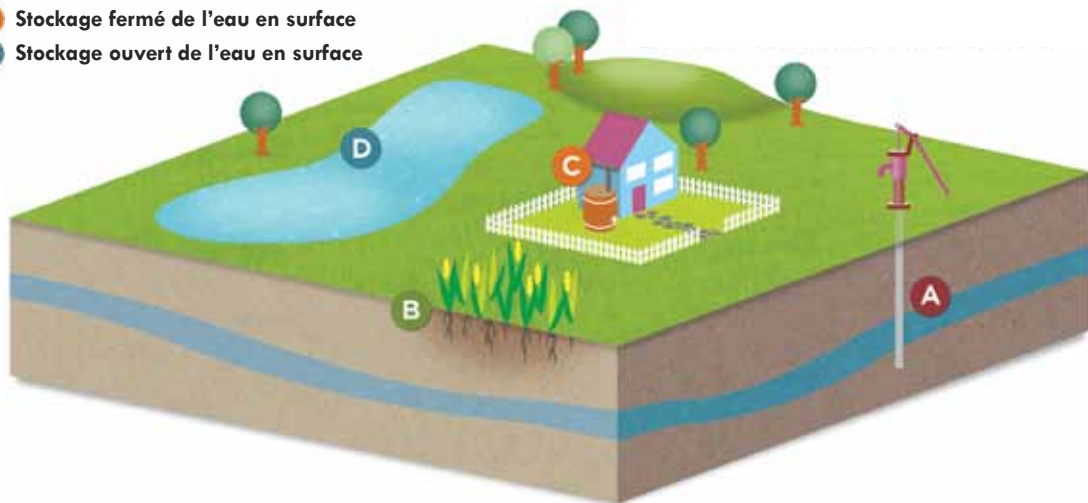


Figure 3. Infographie illustrant des cas typiques de stockage.

STOCKAGE DES EAUX SOUTERRAINES	STOCKAGE DE L'HUMIDITE DU SOL	STOCKAGE DANS DES RESERVOIRS FERMES	STOCKAGE DANS DES RESERVOIRS OUVERTS
<p>Infiltration par le lit de la rivière</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colmatage de ravines • Barrages de sable • Barrages souterrains • Barrages de rétention • Contrôle de l'extraction de gravier et de sable <p>Infiltration induite par la surface terrestre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etangs d'infiltration • Drains/tranchées/fossés • Irrigation par épandage/épandage de crue • Protection des zones humides <p>Infiltration directe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puits d'infiltration/tube de recharge • Puits d'injection • Infiltration induite des berges • Infiltration induite des dunes 	<p>Réduction des écoulements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bandes enherbées • Diguettes et ponts • Terrasses • Fosses de plantation <p>Infiltration induite par la surface terrestre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Labour profond • Demi-lunes • Utilisation d'invertébrés • Pâturage intensif contrôlé <p>Réduction de l'évaporation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de compost/biochar • Paillage • Agriculture de conservation 	<p>Collecte des eaux de pluie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuves sur toits • Petites cuves • Citernes souterraines <p>Collecte de la brume</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuve et bouclier à brume 	<p>Stockage dans le cours d'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réservoirs à faible stockage <p>Stockage à l'échelle du bassin versant</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réservoirs de stockage • Collecte des eaux du système routier • Diguettes trapézoïdales • Stockage sur les coteaux ou en affleurements rocheux
A	B	C	D

Figure 4. Exemple des techniques 3R.

Le stockage de l'eau en surface ouverte offre une méthode de stockage pour des volumes plus importants, et peut donc être utilisé à des fins agricoles ou industrielles. Elle présente l'avantage d'un accès direct à la ressource, mais l'inconvénient d'être sujette à de grandes pertes par évaporation de par une large surface à l'air libre, mais également à un risque relativement élevé de contamination, en comparaison avec les autres systèmes mentionnés ci-dessus.

Chaque type de zone tampon présente des atouts et des inconvénients. Le délai de retenue et de stockage de l'eau diffère entre les systèmes. En général, les capacités des zones tampons augmentent à mesure que l'on passe d'un stockage de petite à grosse capacité, et d'un stockage en surface à un stockage souterrain. Tandis que les cuves de petites tailles, mais également l'humidité du sol, aideront à faire face à une longue saison sèche, les bassins de stockage en surface de grand volume, et particulièrement les réservoirs souterrains, peuvent également aider à faire face à une année ou une série d'années exceptionnellement sèches. Les différents types de stockage se complètent généralement mutuellement, au niveau du paysage et du bassin versant.

La figure 4 donne un large exemple de techniques de création de zones tampons, opérées par la méthode de retenue et de recharge. La classification détaillée est incluse dans l'annexe I. L'avantage

Tableau 1. Exemples d'intervention à des fins différentes, induisant également la capacité des zones tampons

	Axe de la gestion	Objectif principal	Mesures d'exemples
Le stockage de l'eau comme technique d'aménagement complémentaire	Gestion de la source d'eau	• Améliorer la disponibilité de l'eau	• Gestion de la protection et des inondations • Utilisation conjointe, gestion de la demande
	Gestion des pratiques agricoles et d'élevage	• Augmenter la production / réduire l'érosion / réduire le besoin d'équipement ou le temps	• Drainage contrôlé / bio • Labour suivant les courbes de niveau, travail du sol minimum • Compostage, gestion des éléments nutritifs
	Gestion de l'agroforesterie	• Augmenter la production / réduire l'érosion	• Foresterie agricole, abattage contrôlé des arbres
	Gestion des terres	• Augmenter la production / réduire l'érosion	• Pâturage intensif contrôlé
	Gestion des ressources naturelles		• Contrôle de l'exploitation minière (sable et gravier)
	Gestion des infrastructures physiques	• Transport • Créer de nouvelles terres / réduire l'érosion • Améliorer l'adduction d'eau	• Retenue / Drainage routier • Barrages de colmatage pour créer des terres • Karez améliorés

de cette classification est qu'elle est basée sur le système d'une part, mais également orientée sur l'application. Cet aperçu montre qu'il existe une variété d'options à portée de main - pouvant être utilisées dans différentes conditions locales.

De nombreuses méthodes de stockage de l'eau sont spécifiquement conçues pour augmenter la capacité des zones tampons. Ces dernières peuvent également être renforcées par des techniques d'aménagements complémentaires aux activités de gestion des sols et de l'eau, bien qu'ayant des objectifs principaux différents. Le stockage ne représente parfois qu'un « produit secondaire » : par exemple, les mouvements d'écologisation menés par les agriculteurs dans certains des pays les plus arides d'Afrique occidentale ont non seulement développé une végétation d'arbres utile, mais ont également contribué à augmenter les niveaux de nappes phréatiques.

Dans d'autres cas, les objectifs de gestion de zones tampons peuvent être intégrés dans les investissements existants : par exemple dans la construction de routes et de basses chaussées. Les routes peuvent être construites de manière à guider le ruissellement vers les étangs de stockage, les citernes ou les zones de recharge. La construction de routes « taillées dans la roche » dans les zones de montagne engendre bien souvent des sources, favorisant alors le développement de telles installations. Dans une rivière à sec, des chaussées basses (ou ponts irlandais) peuvent retenir les écoulements souterrains et augmenter les niveaux d'eau dans les puits en amont. En termes de coûts et bénéfices du stockage, l'utilisation de ces possibilités permettra de réduire le coût attribué aux zones tampons. Le tableau 1 donne des exemples d'interventions menées à d'autres fins (par exemple relatives à la gestion de l'agriculture, des pâturages ou de l'agroforesterie), mais qui améliorent également la capacité des zones tampons.

L'infographie dans la page suivante présente une variété d'applications de l'approche 3R à l'échelle du bassin versant. L'Encadré 4 décrit un cas exceptionnel et montre que la création de systèmes de stockage n'est pas seulement un effort humain.

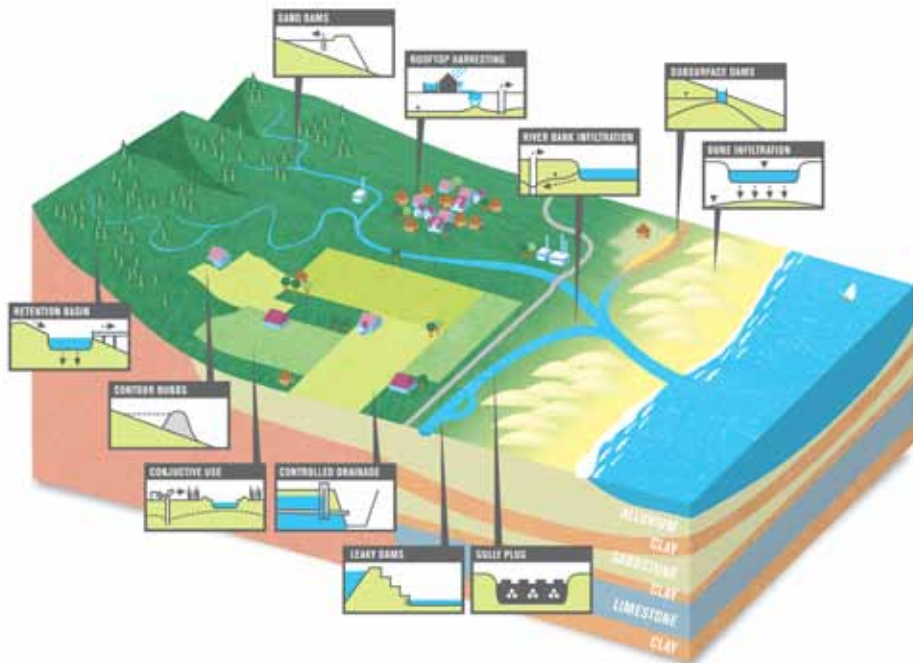


Figure 5. Infographie montrant les applications des 3R dans un bassin versant.

Encadré 4 : Stockage et milieu biotique

Le stockage - en particulier la rétention en eau du sol et le stockage souterrain - est affecté par la faune et la flore : les petites créatures, que ce soit les termites, les cloportes ou les vers de terre peuvent augmenter la porosité du sol et sa capacité à absorber l'humidité et à recharger les nappes phréatiques. Il existe plusieurs techniques pour augmenter la présence de ces invertébrés et des insectes. Toutefois, les souris et les rats peuvent causer un phénomène de dessiccation des sols, par la création de grands tunnels. La végétation a également un effet important - elle consomme de l'eau, mais affecte également le microclimat, les modèles de ruissellement, la structure du sol et sa perméabilité.



2.3 La pratique de la gestion de zones tampons

Les sections suivantes présentent les principales catégories d'options de stockage, ainsi que les coûts habituels de développement et de maintenance.

2.3.1 Recharge des eaux souterraines

Les technologies

Bien que l'effet total du stockage en cuve ou en citerne soit faible en termes de quantité d'eau, il se révèle différent en ce qui concerne le stockage dans les aquifères peu profonds. Il représente une bonne partie - qui n'est pas toujours bien comprise - de l'hydro(géo)logie d'une région. Les ressources en eaux souterraines peu profondes soutiennent les grandes économies agricoles en Asie et en Afrique du Nord et présentent le même potentiel à cet égard dans une grande partie de l'Afrique.

La recharge des eaux souterraines se déroule dans des conditions naturelles (recharge naturelle), comme cela est représenté dans la figure 8. L'amélioration de la recharge peut être atteinte de plusieurs façons, grâce à une variété de méthodes généralement appelées MAR - Managed Aquifer Recharge (Gestion des systèmes de recharge des aquifères). La recharge peut également s'effectuer par d'autres moyens, par exemple, à travers l'infiltration de l'eau d'irrigation en excès et provenant des fuites de conduites d'eau et d'égouts.

Les trois méthodes de recharge de base sont : l'interception dans le lit de la rivière (tels que les barrages de sable - figure 6a, étude de cas 5.1 et 5.7), l'infiltration induite de la surface de la terre (tels que les étangs d'infiltration - figure 6b, étude de cas 5.6) et l'infiltration directe au moyen de puits (figure 6c, étude de cas 5.4 et 5.5). La source d'eau peut correspondre à l'eau de pluie, l'eau de rivière, l'eau de surface, les eaux pluviales ou encore les eaux usées traitées. Dans tous les cas, l'objectif principal vise à augmenter la recharge des eaux souterraines (zone saturée), où elle peut être stockée en toute sécurité, même pour une période relativement longue.



Figure 6 a, b, c, d, e. Différents types de recharge (Photos: Acacia Water).

L'infiltration induite des berges, présente dans cette catégorie, correspond à une technologie 3R légèrement différente, faisant usage du stockage naturel des eaux souterraines entourant le lit de la rivière, en induisant l'infiltration par l'abstraction continue le long des berges du cours d'eau. (Figure 6d : Système d'infiltration induite des berges à Barichoo, zones littorales du Kenya ; et figure 6e : puits sans arsenic à Chapai Nawabganj, Bangladesh).

Encadré 5 : Fracturation hydraulique - augmenter la capacité de stockage de l'aquifère

Une technique spéciale visant à augmenter le rendement effectif des aquifères rocheux particulièrement difficile est la fracturation hydraulique. La fracturation hydraulique consiste à injecter de l'eau sous haute pression dans une formation rocheuse, au moyen d'un puits. Cette technique est destinée à augmenter la taille et l'étendue des fractures du substratum rocheux existant. Elle est réalisée grâce au pompage de l'eau à débits élevés, au travers de ces fractures, et à des pressions pouvant atteindre 3000 Pa. Cela ouvre les fractures et leur permet d'interconnecter avec celles du substratum qui renferment de l'eau. L'eau peut alors circuler à travers ces fractures et dans le puits, à un rythme plus rapide qu'auparavant. La fracturation hydraulique n'est pas encore une pratique courante et nécessite davantage de recherche, afin d'éviter les risques environnementaux potentiels.

Où cela s'applique-t-il ?

L'ensemble de ces techniques de recharge des eaux souterraines nécessite un aquifère apte à stocker l'eau. L'aquifère peut être superficiel ou profond. Les aquifères peu profonds n'étant pas recouverts par une couche d'argile (tels que les dunes et sables alluvionnaires) sont particulièrement adaptés dans le cadre d'une infiltration induite par la surface terrestre, au moyen des bassins d'infiltration, des fossés ou des rigoles de drainage. Lorsque les aquifères sont recouverts par une couche d'argile, ou dans le cas des aquifères profonds, un système d'injection d'eau dans le puits est généralement nécessaire pour infiltrer l'eau - se révélant très coûteux. Les systèmes d'infiltration par les berges du fleuve correspondent au cours des rivières permanentes ayant des couches de sable adjacents, ou aux rivières asséchées, au moyen de barrages souterrains ou de barrages de sable.

La dimension des systèmes peut varier considérablement : que se soit des petits barrages et des injections à petite échelle dans les aquifères peu profonds, ou de plus grands systèmes tels que l'infiltration par dunes aux Pays-Bas, ou encore l'infiltration par les berges pour de grandes villes, comme Berlin et Budapest. Il existe également un large éventail de complexité technique : que se soit des barrages de sable simples (étude de cas 5.1) via les étangs d'infiltration (Ahwat) au Soudan, le stockage en aquifère profond, ou encore les systèmes d'injection de récupération (étude de cas 5.4).

Coûts et bénéfices

Les données économiques relatives aux dispositifs de recharge seront régies en grande partie par l'infrastructure, ainsi que par les exigences opérationnelles et de maintenance. Ces données varient considérablement selon les dispositifs, non seulement dans l'ampleur et le coût de chaque composant, mais aussi parce que certains composants, tels que le traitement de l'eau et l'entretien

de l'étang d'infiltration, peuvent être nécessaires selon certains dispositifs.

On trouve de nombreux types, ainsi que différentes technologies de recharge à petite échelle dans de nombreux pays, certains d'entre eux remontant à l'Antiquité. En règle générale, le coût de ces systèmes est de l'ordre de 0,5 à 2 dollars US / m³.

En Inde, les coûts d'investissement relatifs à une recharge artificielle varient de 1 dollar US pour 1000 m³ pour un étang d'infiltration (zone alluviale) à 551 dollars US pour 1000 m³ pour un puits d'injection, tandis que les coûts opérationnels varient de 1 dollar US pour 1000 m³/ an pour un barrage de retenue, un étang d'infiltration ou une cuve (zone alluviale) à 21 dollars US pour 1000 m³/ an pour un puits d'injection. Le coût de construction d'un barrage de sable au Kenya est de 5000 dollars US pour 1000 m³ et le coût relatif à l'injection en aquifère peu profond au Bangladesh est de 10 000 dollars US pour 1000 m³. De manière générale, les coûts de construction et de fonctionnement des structures de recharge, sauf dans le cas des puits d'injection dans les zones alluviales, restent raisonnables ; les coûts comparatifs de l'eau rechargée pour 1000 m³ dans de tels cas, peut aller de 1 à 3 dollars US. D'autre part, un coût de 0,05 à 0,15 dollar US / personne / an reste très raisonnable, au regard du coût de l'utilisation de l'eau souterraine rechargée à des fins d'approvisionnement en eau pour les besoins domestiques.

Les études concernant les bénéfices économiques et financiers de la recharge des aquifères sont rares. Il existe une étude sur les coûts et les bénéfices nationaux de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en Israël². Il a été calculé que l'utilisation des rejets d'eaux usées dans l'irrigation, dans les régions centre et sud en Israël, conduisait à une production agricole supplémentaire d'une valeur de 0,14 dollar US / m³, les bénéfices liés à la recharge se chiffraient à 0,70 dollar US / m³ et les pertes vers l'aquifère en raison de l'infiltration s'élevaient à 0,10 dollar US / m³. Cette méthode donne un bénéfice net national de 0,11 dollar US / m³, l'affirmant comme une option rentable, en comparaison avec le rejet en rivière par exemple, affichant un coût net de 0,40 dollar US / m³.

La gestion des dispositifs de recharge peut également offrir de nombreux avantages, notamment la protection des ressources en eau contre la pollution et l'évaporation, ou encore la distribution de l'eau dans l'aquifère, en utilisant l'aquifère comme une alternative aux canaux de surface. Il existe également de nombreux bénéfices environnementaux liés à l'amélioration des niveaux d'eaux souterraines, maintenant la continuité des écosystèmes tributaires, ainsi que la biodiversité. Ces dispositifs ont également pour avantage d'empêcher l'intrusion des eaux souterraines salines.

Les avantages des divers dispositifs de recharge dépendent aussi de leur type et de leur envergure. Le tableau 2 donne un résumé des principaux avantages et contraintes des dispositifs MAR (Gestion des systèmes de recharge des aquifères).

Mécanismes de financement

Le mécanisme de financement dépend de la taille du système, des bénéfices financiers tirés, des paramètres socio-économiques, mais également de la personne ou entité à qui profitent ces bénéfices. S'ils restent essentiellement des bénéfices d'ordre économique, il sera difficile de convaincre les foyers à s'engager dans le financement de dispositifs de recharge. Dans le cas où

2 Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit Analysis, Nava Haruvy, Agriculture, Ecosystems and Environment (Réutilisation agricole des eaux usées : analyse coût-bénéfice à l'échelle nationale, Nava Haruvy, Agriculture, Écosystèmes et Environnement) 66 (1997) 113-119

Tableau 2. Résumé des avantages et des contraintes liés à la gestion des systèmes de recharge des aquifères

Technology	Avantages	Contraintes
Modification du lit de la rivière	<ul style="list-style-type: none"> Point d'eau pour le bétail, l'irrigation, le lavage et le nettoyage Augmentation de l'infiltration dans les eaux peu profondes Augmentation de la percolation 	<ul style="list-style-type: none"> Relatively high levels of evaporation, water pollution
Barrage de sable / souterrain	<ul style="list-style-type: none"> Structures à faible coût, à base communautaire, peu d'entretien, structures installées dans le lit des cours d'eau, aucune nuisance 	<ul style="list-style-type: none"> Problèmes potentiels liés à la propriété, à la pollution de l'eau, à l'infiltration de quantités d'eau relativement faibles, au contrôle de la qualité
Barrages de recharge	<ul style="list-style-type: none"> Structures installées dans le lit des cours d'eau, aucune nuisance concernant l'utilisation des terres 	<ul style="list-style-type: none"> Domages considérables en aval pouvant être occasionnés par des structures dépassées La recharge peut être limitée en raison de l'envasement
Étangs et bassins d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> Infiltration de grandes quantités d'eau à un coût relativement faible Procédures de maintenance et anti-colmatage relativement simples Organique 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite une grande surface plane perméable Risques de maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau de surface
Inondation	<ul style="list-style-type: none"> Infiltration de grandes quantités d'eau à un coût relativement faible 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de pollution de l'eau Risque de forte évaporation
Fossés, rigoles de drainage, drains	<ul style="list-style-type: none"> En cas de drainage inversé, les structures peuvent être installées sous terre, aucune nuisance concernant l'utilisation des terres 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite une grande surface perméable Risque de maladies transmises par des vecteurs liés à l'eau de surface
Puits profonds d'infiltration: systèmes de stockage et récupération d'eau dans les aquifères (ASR)	<ul style="list-style-type: none"> Colmatage partiellement éliminé pendant le cycle de récupération Infiltration de grandes quantités d'eau à un coût relativement faible 	<ul style="list-style-type: none"> Conception complexe, construction complexe, exploitation et maintenance complexes Suivi intensif requis Exigences de haute qualité
Puits peu profond / puits foncés / fosses d'infiltration	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des coûts grâce à l'utilisation des installations existantes Réduction du colmatage grâce à la récupération depuis la même structure 	<ul style="list-style-type: none"> Exigences de haute qualité pour l'eau de source
Infiltration induite des berges	<ul style="list-style-type: none"> Possibilités d'extraire de grandes quantités d'eau de bonne qualité Contaminants organiques présents dans l'eau de source filtrés dans le sol 	<ul style="list-style-type: none"> Conception complexe, construction complexe, opération et maintenance complexes Surveillance intensive requise Haut risque lié aux puits

Source: *Artificial Recharge Around the World*; IGRAC and Acacia Water, 2003

il existe effectivement des bénéfices financiers considérables concernant le milieu rural dans les pays en développement, les dispositifs plus petits peuvent être financés soit par des programmes de micro-financement, ou d'épargne. Les dispositifs de recharge de plus grande taille devront être financés, gérés et entretenus également au niveau de la communauté.

Le financement des coûts de maintenance et de fonctionnement pourrait être facilité par le biais de redevances ou droits, dans les cas où résultent des bénéfices financiers. Les coûts d'investissement quant à eux, peuvent être financés par les budgets gouvernementaux ou des fonds externes. Si les rendements financiers ne sont pas suffisants, l'allocation budgétaire au niveau de la municipalité devra également être utilisée pour le fonctionnement et la maintenance de ces dispositifs de recharge. La même chose vaut pour les plus grands dispositifs de recharge qui devront être financés et exploités au niveau du bassin versant. Un soutien extérieur pourrait être nécessaire en cas de manque de moyens budgétaires disponibles.

Mise en œuvre

Les petits systèmes de gestion de la recharge des aquifères sont généralement conçus, construits et gérés avec un degré élevé de participation de la communauté. La sélection et la conception du site nécessite habituellement l'intervention d'un spécialiste, mais la mise en œuvre peut être largement couverte par la main-d'œuvre locale (entrepreneur, administration locale, communauté), avec une utilisation maximale de matériaux disponibles localement.

Les systèmes de moyenne et grande taille sont généralement caractérisés par un degré élevé de complexité technique et un besoin de plus d'expertise professionnelle dans la conception, la construction et la gestion. Habituellement, la construction est réalisée par des entrepreneurs et la responsabilité liée à la gestion est affectée aux autorités ou organismes (municipaux).

2.3.2 Amélioration de la rétention en eau des sols

Les technologies

La retenue (écologisation) peut être réalisée soit par :

- l'augmentation de la quantité d'eau ajoutée au sol en ralentissant l'écoulement de surface (étude de cas 5.1),
- l'augmentation de la quantité d'eau pouvant être stockée dans le sol en augmentant la capacité de rétention en eau (étude de cas 5.9), ou
- en réduisant l'eau qui s'échappe du sol par évaporation (étude de cas 5.10).

L'augmentation de la quantité d'eau ajoutée au sol peut

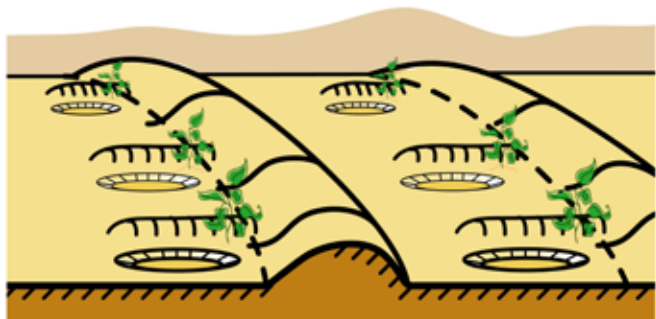


Figure 7. Diguettes en terre avec fosses (Goltzback, 2011; Critchley, 1991a).



Figure 8. Constitution de compost au Burkina Faso (Goltzback, 2011).

être réalisée en réduisant le ruissellement et donc, en augmentant la quantité de temps pendant laquelle l'eau est retenue au-dessus du sol, lui permettant ainsi de s'infiltrer. Les terrasses font parties des options en matière de réduction du ruissellement, réduisant localement la pente de la colline.

Une autre option moins coûteuse est celle de construire des diguettes qui fournissent des obstacles à l'eau de ruissellement qui vient de l'amont, de sorte qu'il s'accumule

derrière ces structures et la vitesse de ruissellement est diminuée. Les retenues peuvent être appliquées sous différentes formes, le long de coteaux par exemple, sur la longueur du champ, ou plus localement. De plus, ces options peuvent être combinées avec des fosses de plantation, aidant à créer un microenvironnement pour les plantes ou les arbres spécifiques. La quantité d'eau ajoutée au sol peut être également augmentée grâce à l'irrigation par épandage, une technique dans laquelle l'eau d'une rivière est détournée afin de couler sur la terre pendant les débits de pointe, augmentant ainsi la quantité d'eau s'infiltrant dans le sol et augmentant de même la fertilité des sols (se référer au site internet : www.spate-irrigation.org).

La quantité d'eau infiltrant le sol dépend des conditions du sol. Ces dernières varient naturellement, mais peuvent être gérées afin d'optimiser la quantité d'eau capable de s'infiltrer. Une mauvaise gestion, ou une surexploitation, peut réduire la capacité d'infiltration du sol, et donc sa fertilité. En maintenant plus d'eau dans le sol, sa capacité de rétention peut ainsi être augmentée. Cette capacité peut être améliorée en augmentant la quantité de matière organique dans le sol, par exemple, grâce au compostage, à l'ajout d'engrais ou encore grâce à des méthodes culturales de conservation du sol (correspondant à davantage de résidus de culture laissés sur le champ). Les racines et la litière végétale augmentent également la capacité d'infiltration du sol. Ces composantes sont mises en valeur lorsqu'un travail réduit du sol, ou le zéro labour, sont appliqués, où tout ou partie de la végétation est maintenue, et peut être renforcée par la plantation d'arbres. En ce qui concerne ces méthodes, une possible augmentation de l'évapotranspiration doit être prise en compte.

Les pertes par évapotranspiration du sol et des cultures peuvent être réduites au moyen d'un paillage. Dans cette pratique, le sol est couvert par des matériaux naturels ou en plastique. Le matériau de couverture pouvant être rare, il arrive bien souvent que seul le sol autour des plantes individuelles soit couvert. On utilise traditionnellement le paillis organique. Le paillis de plastique peut donner de meilleurs résultats, mais présente également comme risque que les parties non-dégradables de plastique s'enfouissent dans le sol.

Où cela s'applique-t-il ?

L'humidité présente dans le sol est disponible là où les cultures ont besoin d'eau : dans la zone

racinaire. L'augmentation de la quantité d'humidité présente dans le sol peut donc être, par conséquent, très bénéfique pour l'agriculture. Cependant, il est à considérer que l'eau est retenue dans le sol et reste difficilement extractible, et n'est donc pas librement disponible pour d'autres objectifs ou lieux. La rétention en eau du sol reste donc mieux utilisée en zones agricoles.

Les règles générales concernant l'application de ces techniques sont les suivantes :

- Les terrasses et diguettes sont adaptées pour les zones situées en versant de colline (par exemple, avec pente $> 0,5\%$ avec diguettes) ;
- L'irrigation par épandage, le paillage et l'amélioration des sols peuvent être combinés avec des terrasses ou des digues ;
- Les techniques de paillage et d'amélioration des sols sont applicables sur terrain plat ou sur pente ;
- Une topographie régulière n'est pas nécessaire (par exemple, des diguettes semi-circulaires) ;
- Les techniques sont utiles même avec de très faibles précipitations (150 mm ; diguettes) ;
- La plupart des options employées pour augmenter l'humidité du sol sont faciles à construire ;
- Elles représentent une solution durable pour les zones reculées, en raison de leur facilité de construction.

Coûts et bénéfices

Les coûts présentés ici sont extraits du rapport « Water harvesting potential for Africa, an assessment of costs and impacts » (Le potentiel de collecte d'eau pour l'Afrique : une évaluation des coûts et des impacts), par N. Goltzback et al (2011). Le rapport décrit diverses améliorations techniques relatives à l'humidité du sol. Certaines des techniques ont un faible coût, tel que décrit ci-dessous. L'eau retenue n'étant pas disponible librement, mais restant toutefois disponible pour les cultures, les coûts sont exprimés en ha et non en m³.

Les résidus agricoles, les coupes de mauvaises herbes et la paille offrent des matériaux à faible coût, pouvant être utilisés pour le paillage. Les coûts, y compris la main-d'œuvre et les coûts d'opération pour le paillage, varient de 40 à 120 dollars US / ha. Le compostage, associé aux fosses de plantation, peut également représenter une technique à faible coût, de l'ordre de 8 dollars US / ha, avec un coût couvrant le creusement, la fertilisation du fumier et le compostage. Les coûts relatifs au travail du sol (zéro labour, chimique, ou réduit) et au labour adapté, sont de l'ordre de 40 à 120 dollars US / ha. La perte de superficie à cultiver représente également un coût qui est mentionné dans de nombreuses publications, et devrait être inclus.

En ce qui concerne les diguettes, le prix dépend de la disponibilité des matériaux de construction (terre ou pierres) et du prix de la main d'œuvre.

La construction coûte de 8 à 350 dollars US / ha et la maintenance de 10 à 35 dollars US / ha ou de 10 à 20 jours / ha. Les terrasses représentent un coût plus élevé, allant de 275 à 1840 dollars US / ha. La main d'œuvre reste la principale composante de ce coût. La maintenance des terrasses coûte environ de 45 à 365 dollars US / ha / an.

Les bénéfices engendrés sont liés à l'augmentation des rendements des cultures, au soutien à une plus grande diversité de cultures et à l'épargne, assurant également la protection des sols fertiles

sur le champ, et conduisant à une réduction des coûts liés aux engrais.

Mécanismes de financement

Ces mesures sont généralement prises au niveau communautaire. Elles pourraient être mises en œuvre et financées, par exemple, par le biais d'associations d'utilisateurs, de groupes communautaires ou d'associations d'agriculteurs. Ces sources se montreront suffisamment intéressées pour que ces mesures soient financées et exécutées, si elles observent des rendements financiers suffisants en termes d'augmentation de la production agricole. Dans ce cas, le financement pourrait être facilité par le biais du prélèvement de redevances ou droits avec (pré) financement au moyen de prêts ou fonds (communaux), à partir du budget du gouvernement. En raison des avantages prouvés de paillis de plastique, des programmes de subventions (jusqu'à 50% du coût) ont été mis en place dans de nombreux pays pour promouvoir son utilisation, en particulier en Asie.

Mise en œuvre

La pratique relative à la conservation de l'humidité du sol peut être appliquée indépendamment, ou en combinaison avec d'autres techniques. Par exemple, dans la catégorie relative au stockage de l'humidité du sol, l'irrigation par épandage peut être combinée avec des diguettes ou des terrasses, afin que l'eau étendue reste plus longtemps dans les champs et puisse s'infiltrer. Il est par ailleurs possible de combiner les méthodes de conservation de l'humidité du sol avec les méthodes relatives aux autres catégories de rétention d'eau. Le stockage de l'eau d'irrigation peut être optimisé lorsqu'il est combiné avec des méthodes de rétention d'eau du sol. Par exemple, une meilleure capacité de rétention en eau du sol, ou encore un paillage, entraîneront moins de pertes d'eau d'irrigation. Les terrasses peuvent donc permettre une irrigation efficace dans des endroits qui étaient auparavant trop accentués. Pour des pratiques agricoles efficaces, les techniques d'optimisation de l'humidité du sol sont relativement rentables.

2.3.3 Stockage dans des cuves et citernes fermées

Les technologies

L'exemple classique de cette catégorie liée à la technologie 3R est la collecte des précipitations à partir des toits et leur stockage dans une cuve. Alternativement, les eaux de ruissellement peuvent être récoltées à partir de surfaces préparées (y compris les eaux de ruissellement provenant d'orages, dans les zones urbaines, ou les routes) et stockées dans les réservoirs et citernes souterraines.

Un système de collecte des eaux de pluie se compose généralement de trois éléments de base : le système de captage, le système d'adduction, et le système de stockage. Les systèmes de captage peuvent varier, allant du toit d'un foyer domestique à une vaste zone de captage en surface, rechargeant par la suite un réservoir. Les dispositifs de stockage les plus couramment utilisés sont des cuves (ou des citernes), avec des tailles allant généralement de 5 à 10 m³ lorsque ces dispositifs



Figure 9 a,b,c. Options de stockage (Photos: Acacia Water and MetaMeta).

sont utilisés pour l'accès à l'eau potable, ou 300 m³ pour l'irrigation d'appoint. Les cuves de petites tailles sont faites de polyéthylène, de ferro-ciment, d'acier ondulé, de briques de plâtre et de béton. Leur utilisation est généralement complémentaire : l'eau des cuves peut être utilisée si la collecte d'eau venue d'ailleurs s'avère impossible. De plus grandes cuves peuvent aussi consister en des failles excavées ou des dépressions naturelles.

La classification des systèmes de collecte des eaux de pluie dépend de facteurs tels que la taille et la nature des zones de captage, mais également de la localisation des systèmes en milieu urbain ou rural.

La capacité de stockage appropriée d'un système de collecte des eaux de pluie est liée à la quantité et à la répartition des précipitations. Par exemple, dans une région recevant des pluies abondantes et constantes toute l'année, une petite cuve pouvant contenir quelques jours d'eau de pluie sera suffisant pour répondre à la demande pour le reste de l'année. D'autre part, les régions sujettes à la sécheresse auront besoin d'une plus grande zone de captage et d'une plus grande cuve de stockage, afin de satisfaire les besoins en eau. Les calculs prennent en considération les paramètres de conception, sur la base d'une série de données mensuelles de précipitations et parfois appuyées par des modèles simples pour les dimensions d'un système.

Un point d'attention dans les systèmes de cuves de petite taille concerne la qualité de l'eau. Des mesures communes évitent le premier flot souillé d'entrer dans la cuve, grâce à l'installation de filtres et d'écrans, et d'un nettoyage régulier.

Où cela s'applique t-il ?

La collecte des eaux de pluie et le stockage en cuve peuvent être appliqués où les zones de captage de petite dimension - y compris les toits - sont disponibles et le régime des précipitations est tel que le coût de stockage reste dans des limites acceptables. De tels systèmes sont généralement coûteux. Ils devraient être déployés dans les zones où (FIDA, 2012) :

- Les précipitations annuelles sont comprises entre 200 et 1 500 mm ;
- Il n'existe aucune source d'eau pérenne, ou de manière insuffisante - que ce soit des eaux de surface ou souterraines ;
- Les sources d'eau existantes sont insuffisantes pour répondre aux besoins multiples en eau ;
- Le potentiel des eaux souterraines reste faible (faible rendement) et / ou de mauvaise qualité (par exemple, des niveaux élevés d'arsenic ou de fluorure, une pollution agricole ou industrielle), et est trop coûteux à traiter;
- L'eau de surface est saisonnière, ou indisponible, et / ou de mauvaise qualité, coûteuse à traiter ;

- L'éloignement rend difficile pour l'accès aux sources d'eau pour les foyers ;
- La pénibilité liée à la collecte de l'eau est sévère, en raison de la distance et / ou du relief ;
- Les technologies alternatives appropriées et gérées par la communauté (forages, puits protégés, sources protégées, etc.) ne sont pas disponibles, abordables, et / ou gérables ; et
- Il n'existe aucune pollution de l'air grave³.

Cost and benefits

Les coûts des systèmes de collecte d'eau de pluie de petite taille⁴ peuvent être répartis en coûts d'investissement, coûts de maintenance des systèmes (y compris la gestion) et autres coûts (FIDA, 2002 ; CIR, 2011). Les bénéfices sont multiples, à la fois directs et indirects. Les coûts d'investissement d'un système de collecte des eaux de pluie comprennent la planification, ainsi que les coûts relatifs à la mise en œuvre, aux outils et matériaux utilisés pour construire le système, et le matériel de formation avec les documents d'information concernant la maintenance et la santé (Huffon 2004). Les coûts d'entretien comprennent les matériaux nécessaires pour entretenir et réparer les composants, le remplacement du carbone dans le filtre, le lavage de la cuve de stockage et le temps de régulation du premier système de rinçage. Une catégorie importante liée aux autres coûts correspond aux coûts du capital, qui peuvent être importants, en particulier dans les situations où le secteur bancaire est immature, avec des taux élevés d'inflation et d'incertitude. Les coûts de financement, à savoir les frais d'intérêt et les remboursements de prêts, sont généralement inclus dans les calculs des coûts. Il existe également des coûts liés à l'immobilisation de capital, qui sont moins évidents et souvent oubliés. Donc, même dans les cas où les investissements sont financés par des fonds propres, les coûts liés au capital doivent être pris en considération, en particulier les coûts dits d'opportunité du capital. Il est important de tenir compte de l'ensemble des coûts sur toute la durée du projet⁵.

Le coût dépend principalement de la taille de la cuve de stockage pour un foyer, habituellement comprise entre 5 à 10 m³. Concernant les toits des écoles ou d'autres captages sur des toits plus importants, la taille de la cuve peut atteindre entre 20 et 50 m³. Selon le matériau (ferro-ciment, maçonnerie, béton), les coûts de capital types d'un système de collecte des eaux de pluie se situent entre 40 à 200 dollars US / m³ (2011)⁶. Pour de plus grandes structures, ils augmentent d'environ 20 à 40 dollars US / m³.

Les bénéfices directs attribués à la collecte des eaux de pluie par les toits correspondent à une réduction du coût de l'eau, par exemple, là où l'eau était achetée auprès de fournisseurs privés. D'autres bénéfices directs sont également envisageables, si suffisamment d'eau est stockée pour de petits approvisionnements en eau pour le bétail ou le jardinage. Les bénéfices indirects peuvent

3 On connaît que les précipitations peuvent transporter des contaminants biologiques (p.e. micro-organismes) et chimiques qui peuvent affecter la qualité de l'eau de pluie récoltée.

4 du FIDA (2012), « Outil économique, financier et technique sur la collecte des eaux de pluie » (FIDA, 2012) et du CIR (2011), « Coût du cycle de vie des systèmes de collecte des eaux de pluie » (CIR, 2011).

5 Une des méthodes qui considère que l'ensemble des coûts correspond à l'approche sur les coûts relatifs au cycle de vie (LCC)

6 Coûts relatifs au cycle de vie des systèmes de collecte des eaux de pluie, CIR, mai 2011

Encadré 6 : Avantages économiques de la collecte des eaux de pluie

Un projet de collecte des eaux de pluie à Kattanad, Inde - les coûts d'investissement pour un système de 6 000 litres serait d'environ 13 500 INR (Roupie Indienne, soit 40 dollars US / m³). Une étude de l'OMS estime que les coûts liés au fonctionnement, à la surveillance, et à la maintenance pour la collecte des eaux de pluie représentent environ 10% des coûts d'investissement.

Un autre avantage important, non lié à la santé, est le revenu épargné de l'achat d'eau auprès de fournisseurs privés. Ces chiffres sont basés sur des entrevues. Quant aux avantages liés à la santé, l'OMS considère que le nombre de consultations en établissement de santé pour des cas de diarrhée sont de l'ordre d'une consultation en moyenne, avec un nombre de visites variant de 0,5 à 1,5. Une fois hospitalisé, la durée du séjour est supposée être de 5 jours en moyenne. Selon le rapport de l'OMS, le coût annuel lié au traitement des patients, enregistré à partir des services d'accès à l'eau et d'assainissement, est de 134 dollars US par habitant. Le rapport concernant l'Inde admet des coûts évités de traitement des patients à hauteur de 1/3 des chiffres de l'OMS. En plus des coûts liés aux avantages médicaux et frais de santé associés aux cas de maladie évités, un des avantages supplémentaires est le gain de revenus qui n'étaient pas perçus auparavant, en raison de jours de travail perdus. Le salaire minimum est également utilisé pour monétiser les jours supplémentaires disponibles pour la scolarisation et la garde des enfants. L'étude de l'OMS raisonne que l'impact de la maladie correspond à l'absentéisme scolaire, ce qui influence négativement le futur capital humain des enfants. Pour cette raison, le taux d'abstention à l'école des enfants d'âge scolaire peut aussi être évalué sur la base du salaire minimum. L'étude monétise les jours gagnés pour la garde d'enfants (en raison de maladies évitées) à hauteur de 50% du salaire minimum.

Les bénéfices nets attendus des investissements concernant la collecte des eaux de pluie à Kattanad vont de 384 millions INR (Roupie Indienne, soit 7 millions de dollars US, à un taux d'actualisation de 0%) à 13,5 millions INR (Roupie Indienne, soit 245 000 dollars US, à un taux d'actualisation de 30%).

Source: Water Quality Study and Cost-Benefit Analysis of Rainwater Harvesting in Kuttanad, India (Étude sur la qualité de l'eau et analyse coût-bénéfice de la collecte des eaux de pluie à Kuttanad, en Inde), Christina Tang, 2009, Centre d'études environnementales à l'Université Brown

être classés en bénéfices liés à la santé, et en bénéfices non liés à la santé. Les économies en matière de coûts liés aux soins de santé sont principalement liées à l'amélioration de la qualité de l'eau et à la réduction du nombre de cas de diarrhée ou d'autres maladies provoquées par l'eau, pouvant être monétisées en termes de coûts évités de traitements médicaux et de journées d'hospitalisation. Les bénéfices non liés à la santé peuvent inclure les économies réalisées sur le paiement aux fournisseurs privés, les économies de temps relatives à la corvée d'eau, le revenu gagné lié à l'augmentation du nombre de jours de production / meilleure présence à l'école / davantage de jours de garde pour les enfants, en raison d'une diminution des incidents liés à la maladie.

L'encadré 6 fait allusion au fait que la collecte des eaux de pluie peut se révéler être une solution économiquement et financièrement viable, les bénéfices pouvant compenser les dépenses dans des

situations particulières.

Mécanismes de financement

La collecte des eaux de pluie se fait généralement au niveau des foyers individuels et du village. Si les rendements financiers sont suffisants, les foyers manifesteront un engouement plus fort pour la financer eux-mêmes. En outre, une aide financière pourrait être fournie par l'intermédiaire de programmes de micro-crédit, au niveau du village ou des quartiers. Dans d'autres cas, l'installation de systèmes de collecte des eaux de pluie devra être subventionnée par d'autres fonds, provenant du gouvernement, des ONG et de donateurs.

Mise en œuvre

Les systèmes de collecte des eaux de pluie sont parfois une initiative entièrement locale, mais font partie, dans la plupart des cas, de projets de récupération d'eau de pluie avec un financement et une mise en œuvre soutenus par des ONG ou d'autres organismes de développement au niveau international, national ou local. Certaines agences internationales de développement connues pour mettre en œuvre des systèmes de collecte des eaux de pluie dans plusieurs pays d'Asie et d'Afrique, sont l'Agence internationale adventiste de développement et d'aide d'urgence (ADRA), WaterAid, World Vision, ou encore des organisations internationales de développement telles que le PNUD et l'UNICEF.

2.3.4 Réservoirs d'eau de surface

Les technologies

Les réservoirs d'eau de surface sont également caractérisés par des tailles et des échelles variées. Les réservoirs de petite taille (définis comme réservoir derrière les barrages de moins de 15 mètres de haut et d'un volume inférieur à 0,75 km³) répondent généralement aux besoins en quelques mois. La capacité globale des 17 000 petits barrages au Sri Lanka correspond à 0,25% de la capacité de stockage du haut barrage d'Assouan. Nous nous concentrons, dans cet ouvrage, sur les barrages de petites tailles, les réservoirs de surface, comme par exemple les petites cuves, mais également les autres micro-installations de stockage, telles que des citernes creusées et les étangs à usage agricole.

La plupart des réservoirs de surface fournissent également une recharge des eaux souterraines présentes sous le réservoir et les berges. Lorsque cela fait partie de la conception du barrage, nous parlons alors de barrages de recharge. Les barrages de recharge varient en taille et restent fortement utilisés dans les régions arides comme l'Oman, les Émirats Arabes Unis et le Yémen.

Un grand nombre de réservoirs de petite taille peuvent être trouvés dans les zones semi-arides. Bien que l'impact hydrologique des réservoirs de petite taille soit individuellement assez faible, l'existence de plusieurs centaines de ces structures peut avoir un impact notable à l'échelle régionale. À l'échelle locale, l'impact hydrologique de ces réservoirs est relativement faible, ces derniers ne récupérant qu'une partie de l'écoulement total en amont d'un bassin hydrographique. En termes de sécurité alimentaire, de développement économique et de diversification des revenus,

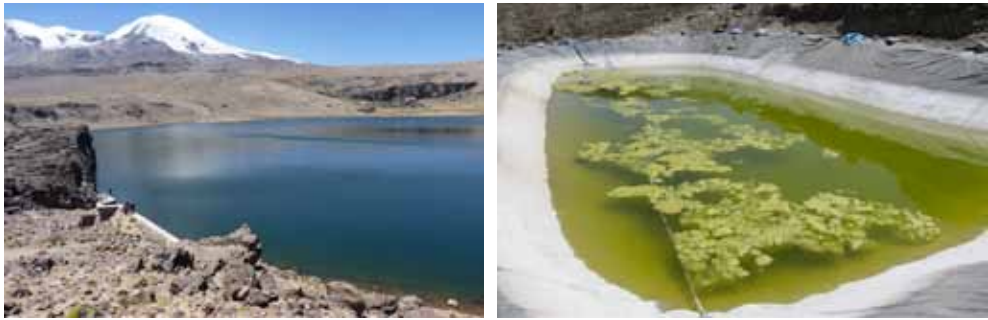


Figure 10. Stockage de l'eau ouvert derrière un barrage de retenue (a) et dans un étang revêtu de plastique (b) dans les Andes, au Pérou (Photo: Acacia Water).

les réservoirs de petite taille ont un impact significatif sur les communautés rurales⁷. À l'échelle régionale, de telles structures peuvent modifier l'hydrologie (par ex. l'écoulement de base, l'apport d'eau du bassin, la régulation des écoulements, etc.).

Où cela s'applique-t-il ?

Les réservoirs peuvent être construits dans les rivières intermittentes où les sols, la topographie et la géologie permettent d'ériger des barrages sécurisés et la création du réservoir. En ce qui concerne les barrages de grande taille, l'étude de faisabilité et la conception sont le travail spécialisé de firmes d'ingénierie, et incluent une évaluation approfondie de l'impact environnemental, financier, économique, social et hydrologique. Les barrages de petite taille sont moins complexes, mais nécessitent également l'intervention d'ingénierie pour la conception, l'implantation et la supervision de la construction. Les cuves et les étangs à usage agricole de petites tailles sont généralement construits dans des dépressions locales, par le propriétaire ou la communauté.

Coûts et bénéfices

Selon le manuel sur les barrages de petite taille au Kenya produit pour l'Agence danoise pour le développement international (Danida)⁸, les coûts habituels de la construction de différents types de réservoirs de stockage d'eau ayant des volumes allant de 100 m³ à 5000 m³ varient de 20 KES (shilling kényan)⁹ par m³ (0,27 dollar US), avec un volume de réservoir de 5000 m³, pour un barrage en vallée construit grâce à l'utilisation de bœufs, à 100 KES (shilling kényan) par m³ (1,37 dollar US), avec un volume de stockage de réservoir de 100 m³.

7 The Small Reservoirs Project: Research to Improve Water Availability and Economic Development in Rural Semi-arid Areas (Projet de réservoirs de petite taille : Recherche pour améliorer la disponibilité de l'eau et le développement économique dans les zones semi-arides rurales), Jens Liebe, Marc Andreini, Nick van de Giesen et Tammo Steenhuis, responsables de l'université Cornell, à Ithaca dans l'état de New York, États-Unis, Institut international de gestion de l'eau (IWMI), Washington, D.C., États-Unis, Université de Technologie de Delft, à Delft, Pays-Bas.

8 Water from Small Dams (Petit barrage collectant l'eau), Erik Nissen-Petersen, Agence danoise pour le développement international (Danida), 2006

9 dollars US 1,00 = 73 KES (Août 2006)

Le manuel conclut que la construction de barrages dans la vallée est beaucoup moins chère que la construction de cuves et d'étangs creusés. L'explication réside dans le fait que, pour un barrage créé en vallée, il ne faut déplacer qu'une quantité minimum de matériau par rapport à sa capacité. L'option la plus coûteuse reste l'excavation manuelle de cuves et d'étangs, puisqu'un mètre cube seulement de capacité de stockage de l'eau est créé à chaque mètre cube de sol excavé. La méthode de construction la plus économique reste l'utilisation des bœufs, le coût étant seulement de 20 KES (shilling kényan) par mètre cube de capacité de stockage créée, dans le cas des barrages en vallée. Ce type de barrage reste cependant le plus difficile à construire pour une communauté, les agriculteurs et / ou les techniciens de l'eau.

Les bénéfices économiques comprennent la valeur du travail, ainsi que le temps gagné, utilisé auparavant pour aller chercher de l'eau et pour l'abreuvement du bétail. Les bénéfices peuvent également résulter de l'amélioration des conditions d'élevage et des cheptels, de la trésorerie liée à la vente de produits agricoles irrigués et de la valeur des aliments cultivés pour le foyer. Le manuel calcule la valeur totale de ces bénéfices pour un stockage de 500 m³ à 10 000 KES (shilling kényan, soit 137 dollars US). Cela comprend 3 000 KES (shilling kényan) correspondant à l'économie de temps pour aller chercher de l'eau et pour l'abreuvement du bétail et 7 000 KES d'augmentation de recettes en raison de rendements supplémentaires, grâce à une meilleure disponibilité de l'eau, permettant une période d'amortissement de moins de deux ans sur un barrage collinaire de petite taille. Le manuel reconnaît qu'il existe également des bénéfices environnementaux, mais aussi des coûts relatifs à la construction de réservoirs, et admet que ces effets peuvent être considérables, en particulier pour les réservoirs de grande taille, de même que pour un grand nombre de réservoirs de petite taille. Toutefois, il ne fournit qu'une liste de contrôle des effets potentiels, sans quantification ou monétisation.

Mécanismes de financement

Le choix du mécanisme de financement dépend beaucoup de la taille du système de réservoir d'eau. S'il implique un barrage de stockage à grande échelle, le mécanisme de financement sera très certainement pris en charge par le gouvernement national et une autorité spécifique sera mise en place pour gérer et exploiter ce barrage et le réservoir. Les bénéfices économiques nets dépendent beaucoup de la nécessité ou non de réinstaller la population locale. Les pertes environnementales dues aux pertes d'habitats naturels et / ou aux dommages environnementaux en aval, doivent également être pris en compte¹⁰. La raison de la construction de barrages à grande échelle, est qu'ils généreront des bénéfices financiers substantiels en termes d'augmentation de la production agricole¹¹. Les investissements dans la construction sont généralement financés par le budget du gouvernement, ou par des fonds externes, tandis que les coûts de maintenance et d'exploitation pourraient être financés par les contributions des utilisateurs.

En ce qui concerne les barrages à petite échelle, le système sera géré et exploité à un niveau

10 Les coûts sociaux et environnementaux pour les barrages à grande échelle ont été considérés comme très élevés, et ont représenté un des motifs pour lequel la Banque mondiale, après la critique sur le « Barrage des Trois Gorges » en Chine, a été très réticente à s'impliquer ou financer à très grande échelle ce type de barrages. Les barrages à petite échelle sont moins enclins aux critiques, puisque les dommages sociaux et écologiques potentiels sont considérés comme beaucoup plus faibles.

11 Nous ne considérons pas dans ce cas les barrages hydro-électriques, car ils ont des buts différents.

Encadré 7: La rétention d'eau grâce à la réintroduction de castors

Alors que le nombre de castors en Amérique du Nord s'élevait à des centaines de millions, la chasse pour leur fourrure et les changements d'ordre écologique ont réduit leurs populations de 6 à 12 millions d'individus. On trouvait auparavant un barrage de castors tous les 500 à 1000 mètres, sur chaque cours d'eau. Ces barrages créaient des étangs et des zones humides, capables de retenir les eaux de pluie et des fontes de neiges. Bien que les étangs créés par les castors fussent relativement petits, ils ont contribué à recharger les nappes phréatiques, à intercepter les sédiments, à favoriser le développement des arbres et de la végétation et à accroître la biodiversité et la capacité tampon de la région en général. La quantité d'eau apportée aux écosystèmes locaux par une seule colonie de castors représente l'équivalent d'une inondation comme il s'en produit une fois tous les 200 ans. Dans l'État de Washington, ils ont été proposés comme alternative pour inonder les barrages de stockage. Repeupler les régions avec des castors reste une proposition attrayante, mais pas facile pour autant : les forêts sont moins denses et les familles de castors réintroduites se voient alors offrir moins d'options pour leur habitat.

Source: D. Ferry (2012), Leave it to beavers: can they help us adapt to climate change? (Réintroduction des castors : peuvent-ils nous aider à nous adapter au changement climatique ?), The Atlantic, juin 2012, p. 24-25.

plus local. Par exemple au Sri Lanka et dans le Sud-Est de l'Inde, les organisations d'agriculteurs sont responsables de l'exploitation et de la maintenance des systèmes de stockage. Ces organisations facturent des frais pour leurs services. Les investissements proviendront de fonds gouvernementaux, ou externes. Il existe cependant certains cas, au Sri Lanka, où les agriculteurs prennent eux-mêmes en charge la construction.

Mise en œuvre

Comme pour les mécanismes de financement aussi la mise en œuvre de barrages dépend largement de l'échelle. Les grands barrages sont généralement conçus et construits par des sociétés de conseil et des entrepreneurs, tandis que pour les petits barrages il y a un apport croissant de main-d'œuvre et de matériaux locaux.

3 Exécution à grande échelle

3.1 Différentes voies pour une exécution à grande échelle

Lorsque cela est possible, la gestion de zones tampons doit être réalisée à grande échelle, couvrant une grande partie de la zone avec une forte densité de mesures¹².

Ces dernières devront permettre d'atteindre un point de basculement, afin de permettre une transformation entière des paysages et des économies. La mise en œuvre à forte intensité des 3R, ainsi que l'envergure de l'écologisation, vont entraîner la modification de nombreux processus : l'hydrologie, les processus de sédimentation, le microclimat, la chimie du sol et le cycle des éléments nutritifs, ainsi que la régénération du couvert végétal. Ces pratiques multiplient les avantages.

On trouve aujourd'hui des exemples impressionnants de ces changements systémiques du paysage, tels que le mouvement du bassin hydrographique du Tigré, en Éthiopie (voir l'étude de cas 5.11.), qui est maintenant reproduit ailleurs dans le pays. D'autres exemples incluent l'écologisation systématique d'un certain nombre de bassins versants en Chine, mais également des programmes liés à la gestion des bassins hydrographiques dans plusieurs États de l'Inde. Certaines de ces pratiques de gestion des zones tampons à grande échelle sont financées de manière externe, tandis que d'autres sont principalement dirigées par des initiatives d'agriculteurs, comme le mouvement en faveur de la recharge à Saurashtra, dans le Gujarat (Inde), et la régénération du couvert végétal naturel gérée au Niger et au Mali - l'ensemble de ces cas impliquent une hausse de 1 000 000 hectares¹³.

Le chapitre 2 présente un aperçu des techniques 3R. La combinaison de techniques pouvant être appliquée avec succès, et selon le domaine, dépend de la préférence locale, de la source d'eau et d'autres conditions locales spécifiques (le climat, la topographie, les sols, la géologie, l'utilisation des terres), mais aussi du but précis de la zone tampon, ainsi que de l'échelle d'utilisation (tableau 3 et 4). L'ensemble de ces mesures contribuent individuellement à augmenter la capacité de rétention en eau d'un paysage. Si ces techniques sont élargies et / ou combinées, les bénéfices qui en sont tirés augmenteront considérablement.

La mise à l'échelle peut être soutenue par une planification systématique au sein d'un paysage ou d'un sous-bassin, balayant une gamme de technologies offrant le meilleur rapport qualité-prix. En référence aux études de cas décrites dans le chapitre 5, elle peut être appliquée de différentes manières (figure 11):

-
- 12 Il est important de travailler et de gérer, en particulier, les interactions hydrologiques dans un paysage - le lien entre les écoulements de surface et souterrains ; la conservation de l'humidité du sol à grande échelle ; la gestion des eaux de ruissellement dans les égouts locaux.
 - 13 See: Shah, T. 2000. Mobilising social energy against environmental challenge: understanding the groundwater recharge movement in Western India. *Natural Resources Forum* 24: 197–209; Zhu Qianag, Li Yuanhong, John Gould (2012) *Every last drop: rainwater harvesting and sustainable technologies in rural China*. London: Practical Action Publishing and: 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.

Tableau 3. Solutions 3R: paramètres physique

Méthode de retenue	Méthode de recharge	Exigences (Y doit être présent, N doit être absent)					Source de recharge			
		Pente	Rivière/cours d'eau	Aquifère	Couche recouvrant le sol	Constructions	Pluie	Écoulement de surface	Débit du cours d'eau	Autre
A. Nappe phréatique	1. Réduction des eaux de ruissellement	Y	Y	Y	N				X	
	2. Infiltration induite par la surface terrestre			Y	N			X		
	3. Infiltration directe dans l'aquifère			Y	Y/N		X	X	X	X
B. Stockage de l'humidité du sol	1. Réduction des écoulements	Y							X	
	2. Infiltration induite par la surface terrestre				N			X		
	3. Réduction de l'évaporation									
C. Cuve fermée	1. Pluie interceptée					Y	X			
	2. Collecte de la brume									X
D. Stockage de l'eau ouvert	1. Dans le lit de la rivière	Y	Y		Y				X	
	2. En dehors du lit de la rivière		Y		Y/N			X	X	

Tableau 4. Solutions 3R: utilisation et échelle

Méthode de retenue	Méthode de recharge	Usage				Echelle			
		Eau potable	Agriculture	Élevage	Autre	Foyers / Communauté	Village / Coopérative	Petite ville	Urban régional
A. Nappe phréatique	1. Réduction des eaux de ruissellement : stockage dans le lit de la rivière	X	X	X		X	X	X	
	2. Infiltration induite par la surface terrestre	X	X			X	X	X	X
	3. Infiltration directe dans l'aquifère	X		X			X	X	X
B. Stockage de l'humidité du sol	1. Réduction des écoulements		X			X	X		
	2. Infiltration induite par la surface terrestre		X			X	X		
	3. Réduction de l'évaporation		X			X	X		
C. Cuve fermée	1. Pluie interceptée	X				X			
	2. Collecte de la brume	X				X			
D. Stockage de l'eau ouvert	1. Dans le lit de la rivière	X	X	X	X	X	X	X	X
	2. En dehors du lit de la rivière	X	X	X	X	X	X	X	X



Figure 11. Plusieurs voies pour une exécution à grande échelle

- **Grâce à la répliation** d'un dispositif unique. Elle peut être bénéfique dans les zones où une technique particulièrement utile est appliquée en grand nombre. À titre d'exemple, on peut citer une cascade en barrages de sable dans le lit de la rivière (étude de cas 5.1), un grand nombre de dispositifs d'injection des eaux souterraines peu profondes en plaine côtière (étude de cas 5.5), ou une multitude de systèmes de collecte des eaux de pluie sur les toits (étude de cas 5.14).
- **Grâce à une variété** d'applications 3R dans une zone - qui sont choisies, planifiées et conçues comme un ensemble. Cette possibilité reste très prometteuse dans les zones observant différentes utilisations de l'eau / utilisateurs, mais également une variété de caractéristiques physiques, ou lorsque la protection et le développement de ressources en eau sont combinés. Les exemples incluent la modernisation de l'ancienne technique de collecte des eaux souterraines, le système Karez, au Pakistan (étude de cas 5.3) ou les activités liées au bassin hydrographique en Inde (étude de cas 5.8) et au Tigré (étude de cas 5.11).
- Une gestion de l'ensemble du paysage **en une seule étape**, avec une ou deux grandes interventions ayant un impact majeur - par exemple une interdiction stricte d'extraction de gravier et de sable dans une rivière, afin d'assurer qu'elle conserve ses fonctions habituelles liées au stockage de l'eau des crues et à la recharge des nappes.

3.2 Œuvrer systématiquement

Il existe plusieurs façons de promouvoir et mettre en place une zone tampon à grande échelle. Il arrive parfois que les initiatives se répandent spontanément. C'est le cas notamment du mouvement en faveur de la recharge à Gujarat (se référer à l'encadré 8), et qui a également participé à l'écologisation grâce à la régénération du couvert végétal naturel gérée au Niger et au Burkina Faso¹⁴. Ces initiatives pourraient également être portées par le gouvernement local (tel qu'en Éthiopie), des associations d'utilisateurs des terres et des ressources en eau (tels que les associations d'usagers de l'eau au Kenya) ou des programmes spéciaux (tels que les programmes liés au bassin hydrographique dans le sud de l'Inde) - afin d'introduire de nouvelles techniques, de renforcer les capacités, d'organiser la planification locale et de soutenir une partie des investissements.

14 Se référer également à van Steenberg et al. (2011), Transforming landscapes, transforming lives (Transformer les paysages, transformer les vies). Rome : FIDA.

Encadré 8 : Mouvement auto-financé en faveur de la recharge à Saurashtra, dans le Gujarat, en Inde

La recharge, la retenue et la réutilisation peuvent, dans bien des cas, être auto-financées, comme l'ont démontré de nombreux mouvements d'écologisation – tels que le mouvement en faveur de la recharge à Saurashtra, dans le Gujarat. En 1978, un chef religieux charismatique du nom de Pandurang Shastri Athavale a tenu un discours lors de l'inauguration d'une propriété forestière commune, et a dit : « Si vous étanchez la soif de la Terre mère, elle étanchera la vôtre... ». Après trois ans de sécheresse, entre 1985 et 1987, les agriculteurs étaient alors profondément conscients de la signification de cette phrase. La collecte des eaux de pluie a ainsi été promue par différentes organisations de la société civile, et les techniques ont été diffusées. Pandurang Athavale a demandé à ses partisans d'adopter ces techniques à grande échelle. Bien que la recharge et la retenue d'eau fussent auparavant appliquées sporadiquement, ces techniques étaient dorénavant mises en place à l'échelle des villages, par un grand nombre de personnes, et l'impact en termes de stabilité et d'augmentation des niveaux des eaux souterraines est devenu visible dans plusieurs villages. La réussite entraînant le succès, ces activités se sont alors organisées en un « mouvement », avec plus de 100 000 structures de recharge construites en quelques années par les agriculteurs. Après avoir autant investi dans les systèmes de recharge des eaux souterraines, les usagers de l'eau ont imposé, dans de nombreuses régions, des restrictions au développement de nouveaux puits.

Le processus de mise en œuvre peut être une activité menée par étapes contribuant à affiner les besoins liés aux 3R dans les zones où la priorité est suffisamment importante pour garantir la réussite de l'investissement. Un bon point de départ consiste dans un premier temps à mieux comprendre la réalité de la zone, ainsi que les processus naturels de recharge et de stockage. De même, des bonnes pratiques sont observables dans de nombreuses régions, pouvant être plus largement diffusées.

La planification peut alors commencer par une analyse rapide d'une zone plus large et d'une observation de ce qui existe déjà ou non, de ce qui fonctionne bien et de ce qui ne fonctionne pas. Une analyse rapide impliquerait une cartographie systématique de la zone, dans le but de délimiter le lieu où la zone tampon s'avère nécessaire et par qui, et quelles sont les conditions physiques. Plusieurs ensembles de données générales mondiales peuvent apporter une aide : la densité de population, l'utilisation des terres, les précipitations / l'aridité, les types de sols et la topographie. Ils peuvent conduire à la sélection des zones spécifiques (sous-bassins) et des besoins spécifiques devant être considérés

Il est également possible, dans la phase suivante, de se focaliser sur les zones ayant une large portée et un fort potentiel, en utilisant les informations secondaires disponibles (il existe bien souvent une mine d'informations non utilisée) et les visites sur le terrain.

Cette approche devrait définir les bases pour des discussions approfondies avec les intervenants locaux et régionaux sur la façon d'améliorer la création de zones tampon. Dans l'objectif de stimuler et ouvrir le débat, il existe de nombreux outils et méthodes interactives disponibles, ayant prouvé leur efficacité dans de tels projets.

Une fois que les options ont été discutées, le processus de planification se concentre sur les

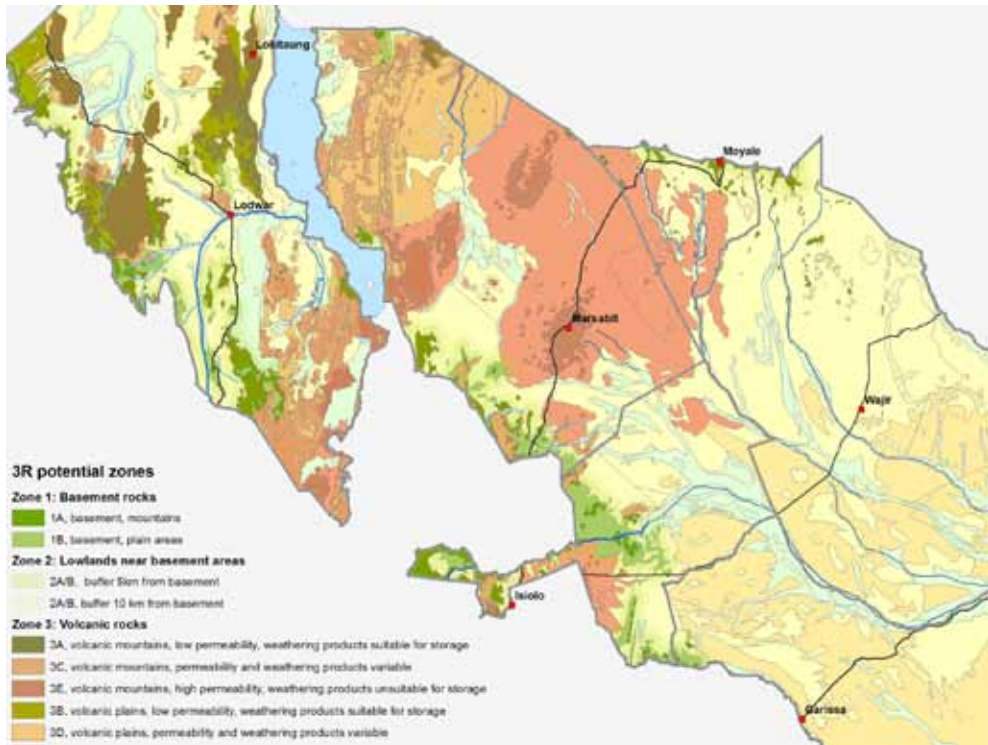


Figure 12. Exemple d'une carte du potentiel de 3R pour les zones (semi-) arides du nord du Kenya.

Box 9: Éléments visuels

Les aides visuelles peuvent être particulièrement utiles dans une planification interactive, telle que des cartes ou des images de la zone, imprimées sur panaflex. Le panaflex est durable, et permet également d'utiliser des marqueurs effaçables, de manière à faciliter le processus de planification. Les cartes-éclair montrant les différentes techniques 3R - en particulier celles qui ne sont pas encore très répandues dans la région - représentent également un outil utile.



questions opérationnelles - le rôle de chacun, ce qui peut être catalysé et ce qui doit être financé. L'apprentissage par l'observation d'autres zones, mais également les visites d'échange entre organisations locales - que ce soit les ONG, ou encore le secteur privé (PME) - offrent un grand potentiel pour les institutions locales et les utilisateurs de terres. Ces méthodes permettront alors de générer une capacité de mise en œuvre au niveau local. Une évaluation plus approfondie de la faisabilité dans les zones sélectionnées mènera à la sélection du type d'intervention offrant le meilleur rapport qualité-prix, et reste appréciée des parties prenantes, mais conduira également à la sélection des phases proposées.

Avant que la mise en œuvre ne puisse commencer, le financement du projet (et de ses différentes phases) doit être en place. Ce point est développé dans la section suivante. Durant la phase de mise en œuvre, les dispositifs sont conçus, construits et remis aux utilisateurs pour l'exploitation, l'entretien et le suivi. La mise en œuvre débutera généralement par un projet pilote, au cours duquel la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance de quelques systèmes seront testés. La phase pilote générera également de nombreuses informations nécessaires pour la phase d'exécution. Enfin, un plan de bassin est réalisé avec une mise en œuvre à grande échelle et une intégration dans la planification au niveau national. L'Annexe II donne un exemple de l'approche à différents étapes qui a été appliquée dans une étude récente au Népal.

Un autre exemple où cette approche a été mise en pratique est montré dans un récent projet 3R (partie du Kenya 'Arid Lands Disaster Risk Reduction Program – KALDRR'). La carte montrée dans la Figure 12 est un résultat de ce programme. Dans ce programme, une évaluation régionale a été réalisée en utilisant l'approche 3R en combinaison avec un inventaire de Multiple Use Service (MUS). L'ensemble de données disponibles (grâce à un étude documentaire) a été combiné avec des informations de terrain. Sur cette base, les possibilités d'intervention ont été identifiées et l'efficacité des différentes techniques de 3R à l'échelle de bassin géo-hydrologique analysé. Un aperçu des interventions à faible technologie a été fourni qui ont le plus fort potentiel de fournir l'eau nécessaire pour les différents usages dans une façon efficace. Toutes les informations ont été résumées dans une carte complète (voir Figure 12). Simultanément les besoins en eau de la communauté ont été évalués en utilisant l'approche Multiple Use Service (MUS).

Dans un processus participatif, un ensemble d'actions ont été choisies par la communauté qui intègre le potentiel de stockage de l'eau d'une cote et les besoins et le contexte locaux d'autre cote.

Par conséquent, un modèle 3R/MUS pour la région a été généré. Cette connaissance peut être utilisée pour la planification des infrastructures de stockage de l'eau à faible coût dans un endroit donné. Ensuite, cette connaissance peut être intégrée au niveau institutionnel, par exemple, au niveau du gouvernement local.

4 Calcul des coûts et bénéfices de la création de zones tampons à grande échelle

Ce chapitre a pour ambition d'explorer et d'enrichir une approche visant à calculer le coût et les bénéfices de la gestion de zones tampon. Elle porte sur l'estimation et la quantification des bénéfices immédiats - sur site, à l'échelle du cours d'eau ou en dehors du bassin versant - ainsi que sur l'évaluation du coût de la résilience : la capacité à surmonter la sécheresse et à gérer les périodes de fortes précipitations, ou encore les inondations.

Ce chapitre se veut un guide pour les planificateurs économiques et financiers - portant sur les investissements relatifs à la gestion de zones tampons, d'une manière semblable à celle par laquelle les investissements sont envisagés dans d'autres infrastructures. Nous souhaitons que ce travail contribue, non seulement à défendre l'argument économique concernant la gestion de zones tampons, mais également à maximiser le rapport coût-efficacité des programmes d'intervention¹⁵ avec pour finalité une réflexion autour des modalités de financement¹⁶. Il est essentiel par ailleurs de ne pas penser seulement en termes de planification et de décisions d'investissement, mais également de reconnaître le soutien possible grâce à l'autofinancement des initiatives portées par les utilisateurs des terres, en ce qui concerne notamment l'écologisation et la conservation de l'humidité.

4.1 Principes de base

Il est important de comparer le coût et les bénéfices des mesures envisagées, ainsi que leurs conséquences, afin de juger si une mesure politique ou d'investissement est opportune. Les coûts et bénéfices sont associés aux mesures elles-mêmes, mais également à l'impact attendu de ces mesures et à la résilience accrue qui en résulte. La figure 13 présente un aperçu des coûts et bénéfices à plusieurs niveaux.

Coûts et bénéfices de la mise en œuvre

Les coûts associés à la création de zones tampons et aux mesures d'écologisation correspondent

15 Une référence très intéressante sur cette thématique provient de Lasage, R et H. Verburg (à paraître), Evaluation of small scale water harvesting techniques for semi-arid environments (L'évaluation de techniques de collecte de l'eau à petite échelle pour les environnements semi-arides). Pour être diffusé dans la gestion de l'eau en agriculture.

16 Après Winpenny, J., I. Heinz et S. Koo-Oshima (2010), The wealth of waste: the economics of waste water use in agriculture (La Richesse des déchets : l'économie de l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture). Rapport sur l'eau 34, Rome : FAO (p. 47).

aux coûts de développement et aux frais d'entretien, engagés pour maintenir les mesures de gestion de zones tampons. Le chapitre 2 a fait état de l'éventail des coûts afférents aux différentes solutions 3R. Ces coûts sont exprimés en termes monétaires, ou en termes de contribution de main-d'œuvre. Il est important de comprendre qu'au delà de ces coûts, le simple fait d'effectuer les travaux produit également des bénéfices. Ils engendrent une création d'emplois et d'activité, ce qui profitera directement à l'économie, de manière générale. Le niveau de contribution des programmes de gestion de zones tampons dans l'économie locale dépend de la nature des investissements. Si - en cas de financement externe - le travail local est davantage valorisé, alors la contribution à l'économie locale s'avère élevée. De même, on observe une plus grande circulation locale de la monnaie, là où le travail est payé en espèces (plutôt que par de la nourriture), en particulier dans les zones rurales pauvres, généralement à cours de liquidités et sous-capitalisées. En revanche, cet effet multiplicateur local ne se produira pas si la plupart des dépenses sont faites sur des articles importés - par exemple, des feuilles de polyéthylène pour le paillage plastique ou du géotextile pour le revêtement des étangs. Bien qu'utiles, les mesures ne contribuent pas à l'économie locale de la même manière que le déploiement payé du travail réalisé. Offrir des possibilités de revenus liées aux programmes de protection sociale a souvent été un argument en faveur de la création de zones tampons - mais s'est également révélé un piège. Dans certains cas, les possibilités d'emploi à court terme sont devenues plus importantes que le résultat des travaux : les interventions n'étaient pas fondées sur la planification, ni la compréhension locale de ce qui est le plus approprié. Il est clair que dans de tels contextes, les programmes de zones tampons risquent d'échouer. Le coût d'une mesure 3R reste mieux calculé en utilisant une approche liée au cycle de vie. Une telle approche ne se concentre pas seulement sur les efforts et les investissements initiaux, mais prend également en compte les coûts relatifs au remplacement et à la maintenance.

Coûts et bénéfices : sur site, à l'échelle du cours d'eau ou en dehors du bassin versant

Les mesures, tout comme leurs conséquences, peuvent être exprimées en coûts et bénéfices. Les bénéfices sont évidents et constituent une raison suffisante pour se lancer dans des travaux. Cependant, des effets négatifs sont également possibles et ceux-ci doivent être pris en compte.

Les coûts et bénéfices de la création de zones tampons apparaissent dans les différents types de services. Selon le cadre élaboré par le TEEB¹⁷ ces services sont : des services d'approvisionnement (tels que l'humidité du sol pour la croissance des cultures, ou l'eau potable pour les humains et le bétail), des services de régulation (maintien du microclimat, réduction de l'érosion des sols, maintien du réseau hydrographique intact), des services de soutien (pour la séquestration de carbone par exemple, l'augmentation des niveaux d'eaux souterraines) et des services culturels (tels que le bien-être, les usages religieux).

Les coûts et bénéfices apparaissent à différents niveaux et il est important de connecter le flux de bénéfices avec la modalité de financement. Certains coûts et bénéfices sont obtenus directement

17 TEEB (2010) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.* (L'économie des écosystèmes et de la biodiversité : Intégration de l'économie de la Nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB).

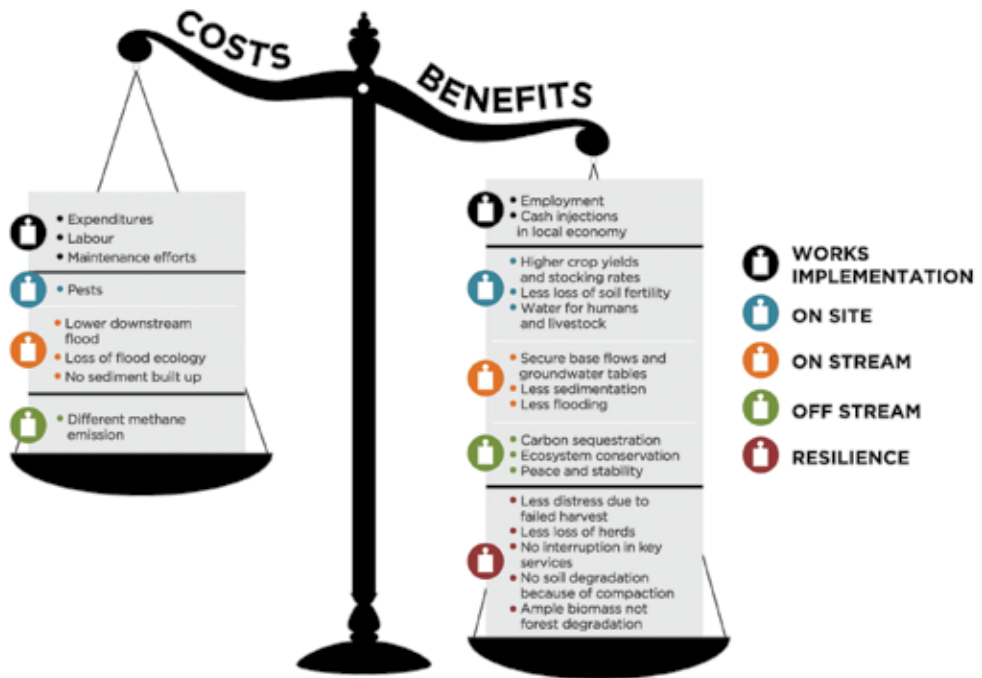


Figure 13. Aperçu des coûts et bénéfices à plusieurs niveaux

sur site, d'autres à l'échelle du cours d'eau ou du bassin versant, alors qu'une troisième catégorie de bénéfices est obtenue en dehors du bassin versant. La figure 14 présente un aperçu des différents types de bénéfices.

Les bénéfices sur site, résultant des meilleures techniques de gestion de zones tampons, peuvent être considérables si ces dernières sont correctement réalisées. Ils concernent souvent les services d'approvisionnement - tels que l'amélioration de l'humidité du sol ou une meilleure disponibilité de l'eau potable. Les terrasses, les diguettes, le paillage et autres techniques améliorées de gestion des champs peuvent engendrer une augmentation considérable des rendements de cultures ou du nombre d'animaux par troupeau. En outre, de meilleures zones tampons réduisent le risque de pertes de récolte et permettent la production de nouvelles cultures étant plus sensibles au stress hydrique - telles que les arbres fruitiers - ou de débiter de nouvelles activités économiques.

Outre les bénéfices sur site - qui profitent directement aux utilisateurs des terres appliquant des techniques améliorées - il existe d'autres bénéfices. Premièrement, on trouve les bénéfices «**à l'échelle du cours d'eau**» qui profitent aux personnes et organisations présentes ailleurs dans le paysage : une sédimentation moins problématique et des écoulements de base plus stables, des niveaux de nappes phréatiques plus élevés, une prévention de l'érosion des sols, une prévention de la sédimentation et de l'envasement, une protection contre les inondations, une amélioration du drainage et du ruissellement, une libération contrôlée des nutriments et une protection de la pêche. Il existe également des bénéfices liés à la biodiversité, mais également à l'esthétique du bassin hydrographique.

Les bénéfices totaux d'un paysage tamponné sont intimement liés aux zones agro-climatiques dont

Encadré 10: Coûts relatifs au cycle de vie des systèmes de collecte des eaux de pluie

Les coûts relatifs au cycle de vie se réfèrent aux coûts totaux sur la durée de vie d'un bien, « de sa création à sa destruction ». Ils sont importants, dans une approche comparative de la durabilité des différentes solutions matérielles. En ce qui concerne le matériel bon marché, les coûts relatifs au cycle de vie peuvent se révéler plus chers à terme que pour les solutions matérielles plus coûteuses, en raison des coûts élevés d'exploitation et d'entretien.

RAIN et le CIR ont calculé que les dépenses de capital et d'exploitation relatifs à la collecte des eaux de pluie au moyen du stockage dans des barrages de sable, pour l'approvisionnement en eau, sont relativement faibles par rapport aux forages et aux systèmes de canalisations. Les dépenses opérationnelles annuelles se placent généralement dans une fourchette de 0 à 20% des coûts de construction.

Source : Batchelor, C., Fonseca, C. et Smits, S., 2011. Life-cycle costs of rainwater harvesting systems (Coûts relatifs au cycle de vie des systèmes de collecte des eaux de pluie). (Document hors-série 46) [en ligne] La Haye, Pays-Bas : Centre international de référence pour l'approvisionnement en eau collective et l'assainissement (CIR), WASHCost et RAIN (Publié en octobre 2011). Disponible sur : <http://www.irc.nl/op46>. 46)

ils font partie. Les bénéfices attribués à la protection des bassins hydrographiques sont par exemple perçus comme étant 15 fois plus élevés pour les forêts tropicales, que pour les forêts tempérées¹⁸. Ceci est en raison de la riche biodiversité et de la forte production de biomasse en paysages tropicaux. Le facteur lié à l'économie est aussi à prendre en considération. Les bénéfices sont en grande partie fonction de l'économie locale. Ainsi, les bénéfices attribués à la protection d'un bassin versant à proximité d'une zone métropolitaine sont plusieurs fois supérieurs à ceux attribués à la protection d'un bassin versant similaire dans une région rurale éloignée.

La dernière catégorie de coûts et bénéfices comprennent les bénéfices en dehors du bassin versant, pouvant survenir au niveau mondial ou national : ils concernent le maintien des écosystèmes et des flux environnementaux, la séquestration du carbone et le maintien de la paix et de la stabilité dans la région.

Les différents programmes de gestion de zones tampons impactent différemment en termes d'avantages et d'inconvénients, et à différents niveaux. Cette réalité est également illustrée par les différentes études de cas présentées dans cet ouvrage (chapitre 5, Annexe III). La mise en œuvre d'un grand nombre de structures de collecte des eaux de pluie sur les toits au Népal, par exemple, a de nombreux avantages sur site, mais ne stabilise pas le débit des rivières ou ne garantit pas les débits écologiques. La mise en œuvre d'un programme intense de conservation de l'eau du sol, tel que dans le Tigré, en Éthiopie, influence de nombreux types de bénéfices : il améliore (plus que du double) la production alimentaire, il réduit les inondations et la sédimentation en aval, et permet également

18 Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2001), La valeur des écosystèmes forestiers : tableau 17.

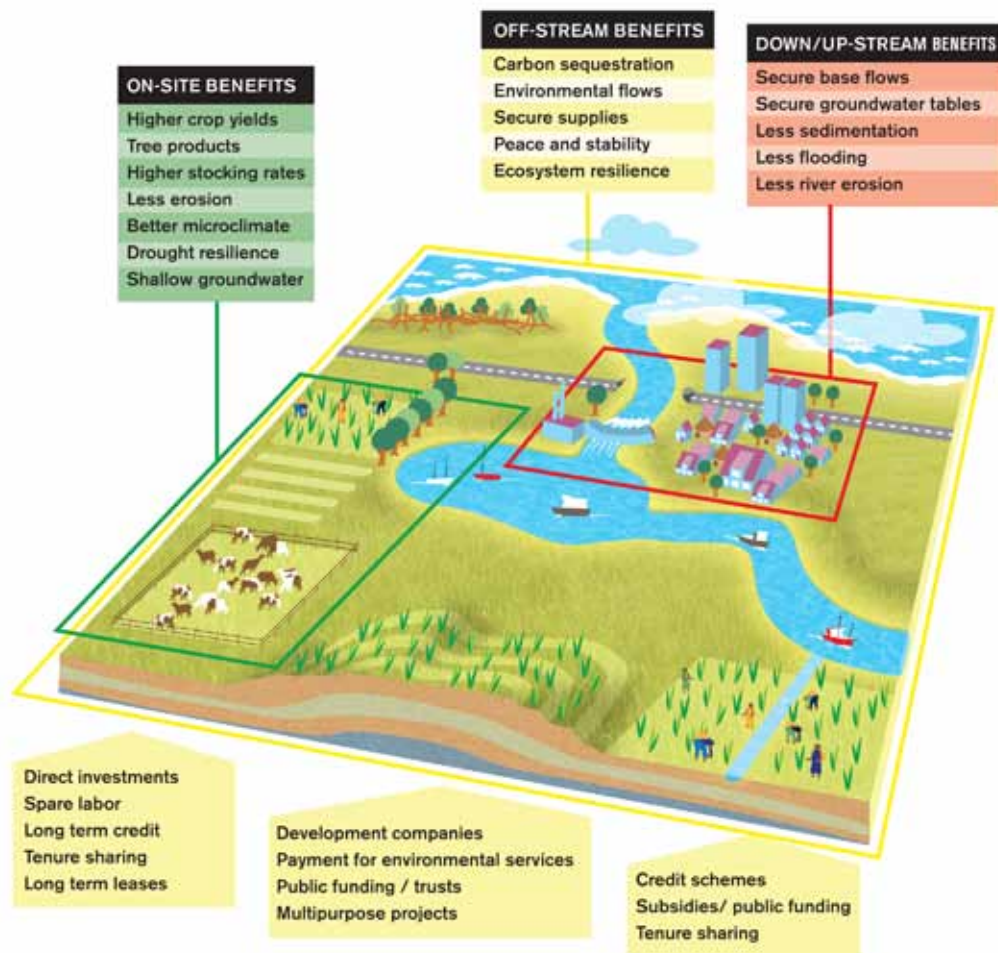


Figure 14. Les principaux bénéfices de la gestion de zones tampons et les modalités de financement

une stabilisation du microclimat. Il contribue également à la résilience - c'est-à-dire la capacité à surmonter une année inhabituelle - ce qu'un programme de collecte des eaux de pluie sur les toits n'offre pas.

Coûts et bénéfices : la résilience

De meilleurs systèmes tamponnés à l'échelle du paysage garantissent une meilleure résilience : la recharge des eaux souterraines et la création de stockage permet de surmonter plus facilement une année avec des conditions météorologiques inhabituelles - soit des précipitations excessives, une sécheresse ou des températures inhabituelles. Les coûts de la non-résilience se mesurent davantage face aux risques et impacts des sécheresses. Le tableau 5 présente un exemple des impacts dévastateurs de la sécheresse sur le Kenya en 2000. Tel que décrit dans le chapitre 2, chaque technique 3R engendre un impact différent sur la résilience : certaines techniques créent uniquement un stockage saisonnier à court terme (citerne, systèmes sur le toit), alors que dans

d'autres cas, le stockage dure plusieurs années.

Deux grandes fonctions sont attribuées aux aquifères peu profond¹⁹. La première relève du stockage d'une réserve d'eau ou de la fonction de stock. L'eau souterraine stockée dans un aquifère fournit une réserve d'eau avec une quantité et une qualité données, pouvant être directement utilisées pour générer des services, tels que l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation, de l'eau pour le bétail, ou encore la production alimentaire.

La deuxième fonction relève de la décharge vers les eaux de surface (cours d'eau, lacs et zones humides), compte tenu de la plus grande prévisibilité des services générés par les écosystèmes des eaux de surface et des zones humides²⁰. Selon la terminologie de l'équipe TEEB (L'économie des écosystèmes et de la biodiversité)²¹, la gestion de zones tampons renforce le stock de capital naturel, à savoir la capacité de fournir des services, même dans les moments de variabilité.

Il existe une série de valeurs qui augmentent la valeur économique totale des paysages, telles que :

- la valeur d'utilisation directe (par exemple, l'augmentation de la production agricole ou industrielle) ;
- la valeur d'utilisation indirecte (par exemple, l'amélioration du stockage de carbone) ;
- la valeur de l'option (valeur de conservation d'un « bien » ou d'un service afin de pouvoir en faire usage dans l'avenir), ou
- les valeurs de non-usage, telles que la valeur de legs (valeur de conservation d'un « bien » ou d'un service - par exemple, une forêt tropicale - même si les personnes n'y ont pas recours, ou n'en ont pas l'intention.

Le motif peut être triple : (i) le souhait que les générations à venir soient en mesure de l'utiliser, (ii) la valeur d'existence (la valeur que représente un « bon » service parce que les gens veulent tout simplement qu'il existe) et (iii) la valeur de conversion des terres (la valeur de son autre usage)²².

Le facteur de résilience ajoute la prévisibilité à ces valeurs et réduit les impacts des pertes de ces différentes valeurs dans une année anormale. Afin de récupérer ces valeurs, différentes techniques d'évaluation peuvent être utilisées, tels que l'évaluation basée sur une fonction de production, une analyse des coûts de transport ou encore des techniques d'évaluation des contingences. Les coûts viennent cependant compenser ces bénéfices. Ces coûts sont généralement plus faciles à récupérer. Ils concernent les coûts liés à l'investissement, l'exploitation et la maintenance, relatifs aux mesures prises et aux coûts de financement. Les postes de dépenses, tels que les coûts environnementaux, les coûts d'opportunité liés à l'eau et les coûts liés au manque à gagner, restent moins évidents.

19 Bergstrom, J.C., K.J. Boyle, C. Job, et M.J. Kealy. (1996) « Assessing the Economic Benefits of Ground Water for Environmental Policy Decisions » (Évaluer les avantages économiques des eaux souterraines pour les mesures prises dans le domaine de l'environnement). Bulletin consacré au problème de l'eau, 32, 279-291

20 Bien sûr, l'autre sens peut s'avérer vrai : l'eau de surface peut se décharger dans les eaux souterraines.

21 Se référer également au PNUÉ (2010), Mainstreaming the Economics of Nature (Intégration de l'économie de la Nature). Nairobi.

22 La valeur des écosystèmes forestiers, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Novembre 2001.

4.2 Durée et dimension

Pour évaluer correctement la valeur de cette activité ou de ce programme, l'ensemble des coûts et bénéfices, y compris économiques, doivent être pris en compte. Cela implique également que la période au cours de laquelle le projet / activité / investissement est considéré doit être suffisamment longue pour permettre que l'ensemble des effets puissent se matérialiser. Dans plusieurs cas, un écart persiste entre les investissements et les bénéfices. Généralement, les coûts sont concentrés au début d'un projet, alors que les bénéfices apparaissent plus tard. Les valeurs à terme doivent être appréciées à un point donné dans l'avenir, lorsque l'ensemble des bénéfices seront apparus. Dans le cadre de ces investissements (t_1), les bénéfices (en particulier indirects, sociaux, immatériels, etc.) entrent en vigueur plus tard (peut-être au t_{15}). Leur actualisation permettra de réduire l'évaluation de tous les bénéfices²³.

Par conséquent, afin d'être en mesure de comparer ces coûts et bénéfices, un taux d'actualisation est utilisé pour déterminer avec précision la valeur actuelle des bénéfices et des coûts futurs. Le niveau de ce taux d'actualisation est très important. Plus ce taux est élevé, moins les futurs effets ont de valeur actuelle. Par exemple, si l'on prend le taux d'actualisation à 6%, le coût de la dégradation de l'environnement qui aura lieu dans 50 ans ne sera que d'environ 5%²⁴ du même montant de la perte d'aujourd'hui. Il n'existe aucune règle simple pour choisir le bon taux. Généralement, pour les projets commerciaux, le coût moyen pondéré du capital est repris, correspondant à la moyenne des coûts de financement de projets. En ce qui concerne les projets gouvernementaux, le taux d'intérêt sur les titres d'État est généralement considéré comme taux d'actualisation - mais cela peut n'avoir aucun rapport avec la solidité de l'investissement dans la gestion de zones tampons, face aux niveaux de confiance des marchés dans les investissements gouvernementaux. Afin de donner un poids approprié aux actifs naturels / écologiques et de mesurer correctement les futurs effets environnementaux des mesures ou des investissements, de solides arguments justifient l'utilisation de faibles taux d'actualisation, de l'ordre de 1 à 3%.

De plus, comme nous le verrons dans le chapitre 3, l'échelle est importante. Certaines mesures 3R sont à petite échelle, telles que la collecte des eaux de pluie dans des cuves ou sur les toits, qui reste une mesure essentiellement prise pour un nombre limité de maisons. Afin de pouvoir tirer réellement parti des avantages de la gestion de zones tampons, les mesures doivent être d'une certaine envergure. Il s'agit des expériences au Niger et au Burkina Faso (écologisation), dans le Tigré, en Éthiopie (conservation des sols et de l'eau) et en Chine (paillage plastique). Travailler à l'échelle réduit les coûts - de nouvelles chaînes d'approvisionnement, des compétences et des connaissances générales, et des modifications globales dans les systèmes économiques. Travailler à grande échelle influence également les bénéfices - modifiant de manière significative l'évolution des microclimats, les processus de sédimentation et la garantie du niveau des eaux souterraines. Cette approche est particulièrement importante en ce qui concerne les bénéfices en aval du cours d'eau et en dehors du bassin versant - tels que de meilleurs écoulements de base et des niveaux de nappes phréatiques plus élevés, plus de séquestration du carbone, ou encore une meilleure

23 La « préférence de temps » - la valeur actualisée donnée aux bénéfices futurs est basée sur l'expérience et la comparaison avec des programmes similaires. Certains bénéfices apparaîtront rapidement et d'autres peuvent concerner une période de temps plus longue.

24 Formule utilisée pour la dépréciation : $v = p(1-d)^n$; v : valeur future, p : présente, d : taux d'actualisation, n : nombre d'années.

biodiversité. En général, l'amélioration des paysages intégrés a pour effet de les rendre moins vulnérables aux changements climatiques et aux catastrophes naturelles. Les pratiques efficaces de gestion des sols et de l'eau ont des effets significatifs ; elles se généralisent et deviennent alors la norme, plutôt que des innovations et des exceptions. C'est alors qu'intervient l'effet de point de basculement. Bien qu'il soit difficile de déterminer l'ampleur exacte des mesures nécessaires pour entraîner l'effet « point de basculement »²⁵, l'amplitude à laquelle l'effet à grande échelle commence à jouer son importance peut être évaluée et doit être prise en considération dans l'analyse des coûts et bénéfices.

4.3 Analyse de risque

Lors de l'évaluation des bénéfices, il est important de prendre en compte le risque de la matérialisation des bénéfices. Les bénéfices apparaissant à long-terme peuvent être particulièrement soumis à de tels risques. La gestion active des risques consiste à identifier ceux à venir, si possible, en tenant compte des mesures de protection en place pour minimiser leurs apparitions.

Un instrument commun est l'analyse de sensibilité. Selon cette méthode, l'impact potentiel du risque sur une étude de cas de base (situation la plus probable) est évalué et le rapport coût-bénéfice est recalculé sous diverses hypothèses et scénarios. Pour les principales catégories de bénéfices, telles que décrites dans la section 4.1, une évaluation peut être faite, permettant de déterminer leurs impacts sur les bénéfices globaux concernant l'étude de cas de base. Il en va de même pour les « coûts relatifs au cycle de vie » sur le long terme, qui peuvent être affectés, par exemple, par des changements de prix. Notez que les risques peuvent se produire de toute façon : des facteurs augmentant les bénéfices surévalués peuvent également apparaître dans l'étude de cas de base. Les risques importants liés à l'évaluation des coûts et bénéfices de la gestion de zones tampons sont présentés dans l'encadré 11.

4.4 Coûts et bénéfices économiques et financiers

La méthode la plus couramment employée pour comparer les mesures ou les investissements et leurs conséquences, consiste en une analyse coût-bénéfice (ACB), où les coûts et bénéfices sont exprimés en fonction d'un dénominateur commun : l'argent. Lorsque le total des bénéfices est calculé comme étant plus grand que le coût total d'une mesure ou d'un investissement, il est

25 Il s'avère par exemple qu'il existe pour l'approvisionnement en eau et pour l'assainissement une sorte de relation de courbe en S entre l'investissement dans une amélioration de la couverture et une augmentation des bénéfices, en termes d'économies en matière de coûts liés aux soins de santé et de gain de temps destiné pour aller chercher de l'eau, avec un certain seuil à partir duquel des niveaux d'investissements supplémentaires relativement élevés apportent des augmentations relativement importantes de bénéfices, mais également un point de saturation après lequel des niveaux relativement élevés d'investissements sont nécessaires pour des niveaux relativement faibles d'amélioration.

Encadré 11: Les risques importants liés à l'évaluation des coûts et bénéfices de la gestion de zones tampons

Les bénéfices sur site

- La possibilité d'engagement dans l'horticulture peut être particulièrement affectée par l'évolution des prix des produits de base. L'horticulture en particulier, représente généralement une activité à forte valeur ajoutée, mais reste davantage sensible aux fluctuations des prix.
- Les bénéfices sur site dépendent également d'une évaluation des bénéfices réels des interventions et de l'effet à grande échelle. Les données de références concernant ces domaines sont limitées - en particulier compte tenu de la grande variété de zones dans lesquelles la gestion de zones tampons est appliquée.

Les bénéfices à l'échelle du cours d'eau

- Les bénéfices, tels que l'atténuation des inondations, sont affectés par la probabilité de ces inondations et par d'autres mesures visant à réduire leurs effets. Ils dépendent aussi de l'évaluation des impacts bénéfiques ou destructeurs des inondations en aval. Les inondations en aval peuvent être utilisées - à condition d'être correctement gérées - pour soutenir l'agriculture, accumuler la couverture du sol et recharger les nappes phréatiques en aval.

Les bénéfices en dehors du bassin versant

- Ces bénéfices sont soumis à la valeur attachée à des facteurs tels que l'atténuation du changement climatique. Les prix des crédits carbone peuvent être un indicateur, mais ces prix ont reflété par eux-mêmes le fonctionnement du mécanisme d'échange plutôt qu'une valeur intrinsèque. De même, l'effet des émissions de méthane n'a pas été soumis à la même rigueur d'analyse que les émissions de dioxyde de carbone, bien que leurs effets sur le changement climatique puissent être plus importants que supposé jusqu'à présent. La gestion de l'humidité des sols et des zones tampons ont un effet important sur les émissions de méthane.

Resilience

- La probabilité que des années exceptionnelles surviennent, mais également l'effet du changement climatique sur celles-ci, représentent une question de prédictions informées et comprennent un élément de risque.
- Les risques surviennent souvent des suites des effets du changement climatique ou de phénomènes météorologiques inhabituels - sur lequel on manque de données de références. Les effets d'un événement climatique inhabituel peuvent également se révéler être positifs : par exemple, à haute fréquence, de fortes précipitations peuvent conduire à davantage d'infiltration en comparaison à des précipitations modérées, en fonction de l'état du sol et de l'hydrogéologie peu profonde d'une région.

La plupart de ces risques restent subjectifs, et leur évaluation implique toujours un élément d'appréciation. La perception du risque peut différer d'un expert à l'autre - mais il est important de faire des hypothèses aussi explicites que possible, afin qu'elles puissent rester ouvertes à la discussion. Il est également important de continuer à construire et partager des ensembles de données sur les différents risques. En général, il s'avère que des informations sur les coûts et les bénéfices sont disponibles, mais dispersées. appears that information on both costs and benefits is available but scattered.

considéré comme valable²⁶.

Il convient alors de faire une distinction entre les coûts et bénéfices financiers, et les coûts et bénéfices économiques. Les coûts et bénéfices financiers correspondent à ceux ayant des conséquences sur les rendements financiers. Ils incluent une augmentation des rendements agricoles, des récoltes de meilleure qualité ayant un prix supérieur au marché, ou plus de bois de chauffage et de bois d'œuvre. Les coûts et bénéfices économiques quant à eux sont liés à la société dans son ensemble. Ils peuvent être reliés à la production agricole, mais concernent également des bénéfices qui ne se rapportent pas directement à un organisme de financement, tels que l'amélioration des conditions sanitaires de la population ou de l'environnement. Ces effets économiques ont besoin d'une traduction, afin de pouvoir évaluer les effets en termes monétaires²⁷.

Il est important de mentionner que les activités relatives à la création de zones tampons ne sont pas seulement économiquement justifiées mais aussi financièrement réalisables. Cette analyse tient compte d'un territoire différent - dans laquelle les intérêts des différents groupes de parties prenantes sont considérés.

Afin d'évaluer si la gestion de zones tampons risque de « s'envoler », une évaluation des coûts et bénéfices sur la situation financière des principales parties prenantes est requise : les agriculteurs, le gouvernement, les investisseurs, les usagers en aval, le public, y compris les principaux gagnants et perdants, avec des estimations de leurs gains / pertes. L'évaluation doit inclure une estimation des incidences financières du projet sur les fonds propres et les budgets de fonctionnement. Cette partie de l'analyse fournit une base pour comprendre les mesures incitatives encourageant les principaux acteurs - en particulier les agriculteurs - afin de soutenir ou de dénoncer le projet et d'évaluer également les meilleurs postes de dépenses des ressources publiques - du gouvernement, de sources internationales ou pour les dispositifs de « crédit ».

L'ensemble de ces informations vise à aider la réflexion sur la façon dont les instruments financiers et les transferts peuvent être utilisés, dans le but de créer les conditions qui rendent les investissements liés aux 3R acceptables pour les différentes parties, mais également pour fournir les bonnes mesures incitatives. Les études de cas présentées dans le chapitre 5 décrivent également les modalités de financement pouvant être utilisées.

Dans plusieurs cas, l'usage des sols et de l'eau à un endroit donné affecte, ailleurs dans le paysage, la disponibilité en eau, la sédimentation et le climat local. Les bénéfices en aval et en dehors du bassin versant peuvent être locaux, ou peuvent s'étendre à travers le paysage. La question, alors, est de savoir comment les bénéficiaires éloignés paient pour ces services. Pour y remédier, le concept de « paiements pour des services environnementaux » (PSE) a été développé - ou plus spécifique au cas de la gestion du paysage, le « paiement des services des bassins versants » (PSB). Concernant le PSB, les utilisateurs des terres reçoivent une compensation financière pour les services environnementaux qu'ils rendent - de préférence de ceux qui bénéficient de ces services. Cependant, ces systèmes ne se développent pas (Porras et al., 2008) encore²⁸.

26 This is a simplification, since it also will depend on alternative options to invest in. If there are opportunities that bring about larger returns, it will be more attractive to invest in these opportunities.

27 Dans le calcul du coût économique, par exemple, un effort est fait pour évaluer les coûts réels - c'est-à-dire sans les taxes ou subventions.

28 Porras, I., Grieg-Gan, M. et Neves, N. 2008. All that glitters: a review of payments for watershed services in developing countries (Une analyse des paiements des services des bassins versants dans les pays en développement). Londres : IIED.

Il existe un certain nombre d'explications : la complexité des opérations, la difficulté de quantifier et de monétiser les bénéfices et, parfois, simplement l'absence d'un interlocuteur ayant la capacité de payer²⁹. Il est souvent beaucoup plus prometteur de construire l'analyse de rentabilité en renforçant les bénéfices directs et sur site des mesures 3R, qui bénéficient aussi à l'ensemble des zones tampons plus stables. Il existe de nombreux exemples de gestion de zones tampons étant autofinancés par les utilisateurs de terres - soit sous la forme de travail hors-saison ou d'investissement local, et parfois dans une entente de co-partage entre les parties pouvant fournir des capitaux à court terme. Cela nécessite parfois le soutien de nouvelles ententes de gouvernance ou de financement. On peut citer comme exemple un établissement bancaire dans l'est de l'Ouganda. Le propriétaire d'un terrain reçoit de la banque un crédit pour planter et entretenir des arbres sur son terrain. Lorsque les arbres arrivent à maturité au bout de dix ans, les rendements générés sont alors partagés par la banque et le propriétaire. Dans une telle situation, la sécurité d'occupation des terres est un plus. Dans plusieurs parties du monde, l'utilisation commerciale de petites exploitations forestières est interdite, ou il n'existe aucune sécurité de mandat. Cela empêche les gens d'investir dans leurs propres zones tampons.

La figure 18 relie les différents types de bénéfices avec les modalités de financement possibles. L'apprentissage de bonnes pratiques, ainsi que l'innovation, offrent un grand potentiel dans différentes parties du monde. De même que dans l'application des technologies 3R, de nombreuses avancées sont également possibles dans le financement de la gestion de zones tampons.

29 van Steenberg, F., L. Knoop et A. Tuinhof (2011), *Transforming landscapes, transforming lives: the business of sustainable water buffer management* (Transformer les paysages, transformer les vies : le rôle de la gestion durable des zones tampons).

5 Études de cas

Les méthodes 3R qui sont décrites précédemment sont illustrées dans ce chapitre par de nombreux exemples pratiques : quatorze études de cas, du monde entier, démontrant les principales méthodes. Chaque étude présente une introduction aux techniques appliquées et décrit sa mise en œuvre, avec une indication des coûts et bénéfices, ainsi que du mécanisme de financement. Des exemples de techniques selon les quatre catégories - le stockage des eaux souterraines, le stockage de l'humidité du sol, le stockage en cuve fermée et le stockage en réservoir ouvert - sont inclus (voir tableau 5).

Les deux premiers exemples (études de cas 5.1 et 5.2) exposent la manière dont les aquifères peuvent être rechargés au moyen de barrages, permettant alors d'augmenter l'eau stockée dans l'aquifère (comme dans le cas des barrages de sable), ou d'élever le niveau de la nappe phréatique présente autour du barrage. Les deux études de cas suivantes (5.3 et 5.4) présentent la manière dont les méthodes traditionnelles et modernes peuvent être appliquées pour une utilisation des eaux souterraines, afin de satisfaire la demande en eau d'une manière efficace et durable. Différentes méthodes de recharge de l'aquifère par l'eau douce - ou pour éviter la perte d'eau douce du sol - permettent la création d'une bulle d'eau douce dans un environnement saumâtre, à des fins d'utilisation pour l'eau potable ou pour l'agriculture, illustrées par des exemples au Bangladesh, au Paraguay, et aux Pays-Bas (études de cas 5.5 à 5.7). Les quatre études de cas suivantes (de 5.8 à 5.11) traitent de l'augmentation de l'humidité du sol par infiltration depuis la surface (menant souvent à une augmentation de la recharge des eaux souterraines). Ces techniques mettent en avant le colmatage des ravines, les barrages déversant et le paillis de plastique, ainsi que l'association de ces techniques dans un projet de conservation des sols et de l'eau à grande échelle. Enfin, les trois dernières études de cas (de 5.12 à 5.14) démontrent la pratique de stockage de l'eau dans les étangs ouverts (à l'air libre) et dans les cuves fermées, pour des besoins en irrigation ou en eau potable. Une comparaison sélective des études de cas sous l'angle des différents coûts et bénéfices est donnée dans l'annexe III.

Tableau 5. Aperçu des études de cas dans cet ouvrage où la dernière colonne indique la typologie de la technique: A se réfère au stockage de l'eau souterraine, B se réfère au stockage de l'humidité du sol dans la zone racinaire, C se réfère au stoackage fermé de l'eau en surface, D se réfère au stoackage ouvert de l'eau en surface (figure 3) et les numéros se réfèrent aux sous-catégories (tableau 4).

Titre	Pays	Description	Catégorie	
Recharge des eaux souterraines par la mise en œuvre de barrages				
1	Barrages de sable	Kitui, Kenya	L'impact d'une cascade de barrages de sable dans un cours d'eau afin de fournir de l'eau potable	A1
2	Barrages de retenue en forêt	Pasak Ngam, Thaïlande	Relancer les ressources forestières et en eau avec de petits barrages pour la retenue du ruissellement et la recharge	A1 & D1
Les méthodes traditionnelles et modernes pour utiliser plus efficacement les eaux souterraines				
3	Karez améliorés	Qila Iskan Khan, Pakistan	Moderniser l'ancienne technologie de Karez pour stabiliser l'approvisionnement en eaux souterraines	A3
4	Approvisionnement en eau à travers une gestion des systèmes de recharge des aquifères	régions centres de la Namibie	La recharge des aquifères au moyen de puits d'injection pour sécuriser l'approvisionnement en eau de la ville de Windhoek	A3
Stockage de l'eau douce dans les aquifères salins				
5	Création de bulles d'eau douce dans les eaux souterraines saumâtres	Bangladesh	Gravity injection of fresh water in shallow aquifers for drinking water	A3
6	Stockage d'eau douce dans les zones ayant des eaux souterraines salines - Tajamares	Chaco, Paraguay	Infiltration provenant des dépressions pour stocker l'eau douce dans les aquifères salins peu profonds pour l'eau potable	A2
7	Conservation d'eau douce avec drainage contrôlé	Pays-Bas	Retenir l'eau douce dans le sol grâce au drainage contrôlé	A1
Augmentation de l'humidité des sols et du niveau des eaux souterraines				
8	Recharge et fertilité des sols grâce au colmatage des ravines et l'utilisation de diguettes	Terai, Inde	Utilisation intégrée de différentes méthodes pour réduire les écoulements et l'érosion	B1 & A1
9	Écologisation des paysages semi-arides - Barrages déversant	région du Sahel	Écologisation des paysages semi-arides avec des barrages pour répandre le ruissellement et augmenter l'infiltration	B2 & A2
10	Paillis de plastique (Biodégradable)	Chine, Inde et États-Unis	L'explosion florissante du paillage pour conserver l'humidité du sol et réduire l'évapotranspiration	B3
11	Conservation des sols et de l'eau à grande échelle,	Tigré, Éthiopie	Variété des mesures de conservation de l'eau et de collecte de l'eau pour l'écologisation du Tigré	A1, A2, B1, B2 & D1
Storing water in open water ponds and closed tanks				
12	Réservoirs de collecte d'eau de pluie	Amhara, Éthiopie	Collecte et stockage des eaux de surface dans un réservoir couvert, utilisé pour l'irrigation	D2
13	Mise en réserve de l'eau de source et en haute altitude,	Andes, Pérou	Réduire l'impact de la fonte des glaciers par un stockage de l'eau ouvert pour la recharge naturelle et l'irrigation	D2
14	Réculte de l'eau de pluie sur les toits,	Népa	Collecte des eaux de pluie pour satisfaire les usages domestiques	C1 & D2

5.1 Barrages de sable

Kitui, Kenya

Le précédent ouvrage des 3R relatif à « La gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique » a présenté le cas des barrages de sable utilisés dans la vallée de Kitui, au Kenya. Cette étude de cas est approfondie dans le présent document, avec une analyse coût-bénéfice (ACB) qui a été réalisée dans l'étude « Évaluation économique de la création de zones tampon », de A. Tuinhof, et al. (2011). L'analyse est basée sur des entretiens, ainsi qu'une analyse socio-économique de la situation, à la fois dans un village ayant des barrages de sable et dans un village sans, avant et après sa construction. Les résultats de l'ACB sont résumés dans la section des coûts et bénéfices.

Les technologies

Un barrage de sable se compose d'un barrage relativement petit construit sur et dans le lit d'une rivière saisonnière. Le sable accumulé derrière le barrage est transporté par la rivière au cours de la saison humide. Une couche de sable se crée donc en conséquence dans le lit de la rivière, qui se gonfle à chaque saison humide jusqu'à atteindre le haut du barrage (figure 16). Cette couche de sable agit alors comme un aquifère, rechargée par l'eau courante à travers la rivière et dans laquelle l'eau est retenue pour une utilisation lors de la saison sèche. La construction d'un barrage de stockage de sable offre la possibilité de stocker de plus grands volumes d'eau dans le lit même de la rivière. Cette technique garantit une meilleure qualité de l'eau, ainsi qu'une plus grande disponibilité, assurée généralement durant toute la saison sèche. L'un des grands avantages des barrages de sable, contrairement aux barrages de retenue, est que le stockage de l'eau dans l'aquifère nouvellement formé rend l'eau moins sensible à la contamination et aux agents pathogènes. De plus, le stockage de l'eau dans le sol réduit de manière significative la perte liée à l'évaporation.

Dans la province de Kitui, les barrages de sable ont été développés à grande échelle, et souvent



Figure 15. a) Barrage de sable; b) Homme récupérant de l'eau, dans le Kitui (Photo : Acacia Water).

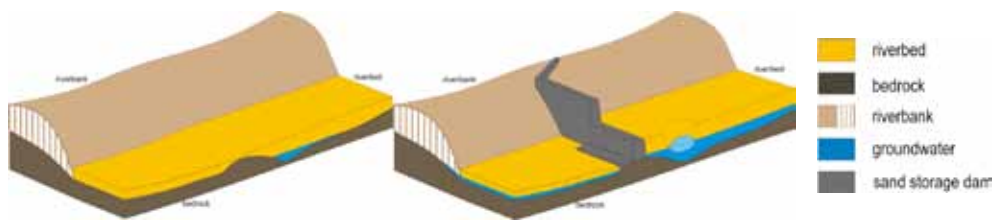


Figure 16. Lit d'une rivière pendant la saison sèche sans (a) et avec (b) un barrage de sable. La zone derrière le barrage se remplit de sable et d'eau au cours de la période humide. L'eau peut être extraite de l'aquifère nouvellement créé grâce à l'utilisation de puits.

en cascades. Une mise en œuvre en cascades fournit certains bénéfices hydrologiques. Cette technique permet notamment de réduire la perte d'eau provoquée par une fuite, puisqu'un barrage en aval retiendra l'eau qui fuit depuis un barrage en amont. Les barrages construits en cascades influent également davantage sur la hausse du niveau des eaux souterraines, par rapport à un barrage unique. Une telle infrastructure offre également une meilleure disponibilité en eau et une régénération plus grande de la végétation, sur une grande superficie. Un effet positif supplémentaire et indirect de la mise en œuvre de barrages de sable ou d'autres techniques de collecte d'eau à grande échelle est qu'elle permet aux communautés de se rencontrer et d'échanger leurs expériences et connaissances, favorisant ainsi la participation de la communauté.

Où cela est-il appliqué ?

750 barrages de sable ont été construits au cœur de la province du Kitui, située à 150 km à l'est de Nairobi. Il s'agit d'une région semi-aride, avec deux saisons des pluies par an. La pluviométrie reste très irrégulière et tombe généralement au cours de quelques orages intenses. La plupart des rivières de la région sont saisonnières et ne coulent donc que pendant la saison humide. Avant la construction des barrages, la distance que devait parcourir la population pour aller chercher l'eau se rallongeait au fur et à mesure que la période de sécheresse se prolongeait.

Les barrages de sable sont construits sur le lit des rivières. Plusieurs caractéristiques peuvent être vérifiées, afin de savoir si le lit d'une rivière peut convenir comme site de construction:

- le lit doit avoir une largeur d'environ 20 m et contenir du sable grossier;
- les berges doivent être raides sur les deux côtés et avoir une hauteur d'environ 1 à 1,5 m;
- les berges doivent être de préférence composées de matériaux argileux ou d'affleurements rocheux;
- la présence d'eaux souterraines (trous dans le lit des rivières) suite à la fin de la saison des pluies est un signe positif (ce qui signifie que, en aval de cet endroit, une barrière d'écoulement naturel est présente et une (semi-) couche imperméable empêche les fuites dans les aquifères plus profonds).

La sélection des sites représente une partie très importante du processus de mise en œuvre, il est donc conseillé de consulter un expert sur la question.

Coûts et bénéfices

Les coûts relatifs à la construction d'un barrage varient de 8 000 à 12 000 dollars US. Ce chiffre inclut une contribution de la part de la communauté de l'ordre de 30-35%, sous la forme de main-d'œuvre. Des coûts supplémentaires doivent être ajoutés pour l'installation de 2 à 4 puits creusés avec une pompe manuelle (pour un total de 2 000 à 3 000 dollars US). Par conséquent, les coûts d'investissement totaux peuvent varier entre 10 000 et 15 000 dollars US. Les coûts liés à la maintenance et au suivi annuel sont estimés à environ 10% des coûts d'investissement par an.

Un barrage de sable fournit environ 1 500 à 2 000 m³ de stockage pendant une période pluvieuse. En considérant 2 saisons des pluies, la capacité de stockage totale s'élève à environ 4 000 m³/an. En moyenne, 25 familles, soit environ 150 personnes, utilisent un barrage. Les bénéfices attribués au barrage de sable ont été étudiés en se basant sur les données de la situation socio-économique dans un village avec (à Kindu) et sans (à Koma) barrage de sable, et en comparant la situation avant (1995) et après (2005) la construction du barrage (tableau 6).

La valeur monétaire la plus importante attribuée aux bénéfices correspond à l'augmentation du revenu, qui représente les bénéfices engendrés par l'augmentation de la production agricole et de la production industrielle (marchandises, briques, charbon). Cette hausse est principalement attribuable à l'amélioration de l'accès à l'eau et à l'augmentation du temps disponible pour des activités autres que la corvée d'eau, ainsi qu'à une amélioration de la santé. Pour un barrage de sable, l'augmentation nette du revenu familial (pour 25 familles) était de $25 \times 125 = 3000$ dollars US / an.

D'autres indicateurs de vulnérabilité, tels que les bénéfices sociaux et environnementaux attribués à la qualité de vie, ne sont pas pris en compte et ne sont donc pas évalués. Néanmoins, on peut présumer qu'il y aura d'importants changements dans les niveaux d'éducation, et dans la qualité de la nature, une diminution des dépenses concernant la distribution de nourriture, les soins de santé, les subventions pour l'adaptation à la sécheresse, mais également des effets positifs indirects, tels que la réduction des flux migratoires et la diminution des impacts de la sécheresse

Tableau 6. Résumé des bénéfices liés aux mesures (Lesage et al., 2008) 1000 KES = 14 dollars US ; 0: inchangés, +: légèrement améliorés, -: légèrement détériorés

Indicateur	Kindu (barrage)		Koma (aucun barrage)	
	1995	2005	1995	2005
Accès à l'eau potable en saison humide (km)	1	1	1	1
Accès à l'eau potable en saison sèche (km)	3	1	4	4
Utilisation domestique de l'eau (L/jour)	61	91	136	117
Personnes exposées à la sécheresse (No)	420	0	600	600
Santé	0	+	0	0
Foyers avec cultures irriguées (%)	37	68	38	38
Conservation de l'eau à usage agricole (L/jour)	220	440	160	110
Production de marchandises et de briques (KES/an)	1500	4500	0	0
Revenus du foyer (KES/an)	15 000	24 000	15 000	15 000
Densité de végétation/biodiversité	0	+	0	0/-

sur la santé. La considération des valeurs monétaires sur ces aspects reste cependant compliquée et n'est donc pas incluse dans l'étude. Bien que l'étude de cas ne prenne pas en compte ces bénéfices supplémentaires, elle démontre que les investissements dans la construction de barrages de sable engendrent de manière générale un rendement économique positif.

Tableau 7. Un exemple de coûts et bénéfices attribués à un barrage de sable, en dollars US / m³

Coûts						Bénéfices	
Coût total de l'investissement (\$US)	Durée de vie (année)	Taux disque (%)	Coût de l'investissement (\$US/an)	Coût de maintenance (\$US/an)	Coût total annuel (\$US/an)	Stockage annuel (m ³ /an)	Coût total par usage (\$US/m ³)
14 000	20	0,05	1100	1400	2500	4000	0,63

La rétention en eau d'un barrage de sable coûte en moyenne de 0,6 à 0,8 dollars US / m³ (tableau 7); le coût d'investissement correspondant par consommateur varie entre 17 et 25 dollars US / an. Le retour sur investissement

Mécanismes de financement

Le concept de barrages de sable est déjà connu depuis des décennies et de nombreux pays possèdent plusieurs ouvrages, tels que l'Inde, le Zimbabwe, le Burkina Faso, l'Éthiopie et le Kenya. Ces initiatives restent isolées, avec seulement quelques barrages de sable construits dans des villages par une ONG locale ou par un groupe d'agriculteurs, afin d'améliorer leur approvisionnement en eau.

En étroite collaboration avec les communautés locales, l'ONG kényane SASOL a pris l'initiative, dans les années 1990, d'assurer la disponibilité en eau pour les communautés rurales, dans la province du Kitui, à travers la construction de barrages de sable. Au cours de la décennie qui a suivi, plus de 750 barrages ont alors été construits, fournissant ainsi de l'eau aux communautés pour un usage domestique et une irrigation à petite échelle. Les populations ont été impliquées dans la mise en œuvre et la construction des barrages de sable, grâce à des groupes de gestion des barrages de sable, fournissant des connaissances, du travail et des matières premières. Suite à la construction, ces groupes assurent alors la maintenance des barrages et la protection de la qualité de l'eau. Ces groupes de gestion ont ainsi pour rôle de promouvoir l'appropriation par les communautés et, par conséquent, la durabilité de ces barrages.

Mise en œuvre

Lorsqu'un site approprié est sélectionné, la conception est faite en fonction d'un profil en coupe transversale, du débit de pointe de la rivière et de l'apport d'eau voulu. La construction proprement dite peut ensuite commencer. Après la construction, en fonction des caractéristiques en amont du bassin versant, 1 à 10 saisons humides peuvent être nécessaires pour qu'un barrage de sable se remplisse complètement de sédiments et d'eau. Un barrage de sable correctement construit nécessite peu ou pas d'entretien majeur. Toutefois, si des fissures ou des points faibles sont observés dans le barrage de sable, il est conseillé qu'un ingénieur technique et un maçon inspectent la structure et exécutent des travaux de réparation, avant la saison des pluies suivante, afin de

prévenir d'autres dommages. En outre, la zone en amont du barrage doit être gardée propre (élimination des déjections animales, d'animaux morts, des roches et des arbres (parties) pour prévenir les dommages pouvant en résulter, ainsi que la contamination de l'eau).

Réussites et défis

Un grand nombre de barrages de sable ont été construits et sont en cours d'utilisation. Les revenus des familles bénéficiaires ont considérablement augmenté par rapport à la situation de référence. La distance par rapport à la source d'eau potable en saison sèche s'est sensiblement réduite et d'avantage d'eau est disponible pour les besoins agricoles. En règle générale, l'augmentation des revenus dépasse les coûts liés à la construction et à la maintenance des barrages de sable, assurant leur rentabilité. Cependant, un risque persiste lorsque les coûts d'investissement et le taux d'actualisation arrivent à l'extrémité supérieure de leurs fourchettes, la valeur actuelle nette pouvant alors devenir négative. La construction de barrages de sable aussi rentables que possible, tout en assurant une maintenance correcte, afin de prolonger la durée de vie de l'investissement, représente donc un défi. Les barrages de sable offrent également des bénéfices en aval du cours d'eau, puisqu'ils réduisent le débit de pointe de la rivière et préviennent ainsi les inondations en aval. Toutefois, l'écoulement de base pendant la saison sèche peut également s'avérer être réduit par les barrages captant l'eau de la rivière. Toutefois, la libération des eaux souterraines de l'aquifère en amont du barrage de sable pourrait compenser ce phénomène, pouvant même augmenter l'écoulement de base en aval pendant la saison sèche.

Références

Tuinhof, A., Van den Ham, J.P. (Acacia Water) et Lasage, R. (IVM), 2011. Economic Valuation of Water Buffering. Approach to Cost Benefit Analysis of Water Buffering (Évaluation économique de la création de zones tampon. Approche de l'analyse coût-bénéfice de la création de zones tampons) et illustrés par une étude de cas dans le Kitui, au Kenya. 26 p. www.acaciawater.com.

5.2 Barrages de retenue en forêt

Pasak Ngam, Thaïlande

Lorsque les forêts sont détruites, les ressources en eau peuvent également disparaître. C'est le cas dans le nord de la Thaïlande. De nombreuses zones de la région, autrefois fertiles, ont commencé à souffrir de la sécheresse générée par la déforestation. Les cours d'eau étant asséchés, les populations présentes dans les bassins versants ont alors connu des pénuries d'eau, affectant les usages agricoles et domestiques pendant la saison sèche. Une série de mesures a donc été prise pour inverser cette tendance. Voici un résumé des résultats du projet à Pasak Ngam et du projet de barrage de retenue DNP en Thaïlande.



Figure 17. Exemple de barrages de retenue, Thaïlande (Photo: Institut d'hydro et agro informatique de Bangkok (HAI)).

Les barrages de retenue sont construits sur des voies d'eau, tels que des petites ravines et autres cours d'eau, en particulier en amont ou dans les bassins hydrographiques. Ils aident à ralentir la vitesse de l'eau, à augmenter la percolation et à entraver la circulation des sédiments. Les barrages de retenue simples sont construits grâce à l'utilisation de

matériaux naturels

disponibles localement, tels que des roches, des rondins de bois, du bambou, des bâtonnets de bois et des branches. Les barrages plus sophistiqués, quant à eux, sont construits avec des pierres et des barres en acier (seuils en gabions). Le béton est utilisé pour construire des barrages permanents. Les barrages de retenue sont particulièrement bénéfiques pour le reboisement, permettant de maintenir le sol et l'eau. Lorsque l'eau est bloquée par des barrages de retenue, le sol peut absorber alors plus d'eau et l'humidité peut pénétrer dans une plus large zone autour du barrage. Les barrages de retenue peuvent être bon marché et très faciles à construire. Les caractéristiques des barrages peuvent être modifiées en fonction de leurs besoins. Par exemple, les barrages construits à travers les voies d'eau, ayant pour but de garder l'humidité du sol, n'ont pas besoin d'être aussi grands que les barrages ayant pour objectif de bloquer les sédiments sableux.

Où cela est-il appliqué?

Le village de Pasak Ngam se trouve au cœur du canton de Doy Saket, dans la province de Chiang Mai, dans le nord de la Thaïlande. Il est situé au nord du réservoir de Maekuung Udomthara. Le village se compose de 102 foyers et d'une population de 347 personnes. Sa superficie de 0,64 kilomètres carrés est entourée par la forêt nationale de Khun Maekuung. La forêt couvre une surface totale de 112 kilomètres carrés. Le village se trouve à environ 400 mètres au-dessus du niveau de la mer, sur un plateau entouré à l'est et à l'ouest de chaînes montagneuses. Pasak Ngam est situé dans une partie du bassin hydrographique où se trouvent de nombreux ruisseaux se jetant dans le réservoir de Maekuung Udomthara. En raison de son emplacement dans le bassin et de sa proximité, à la fois du réservoir, mais également de la forêt nationale, le village est stratégiquement important du point de vue de la conservation des ressources naturelles.

« Pasak Ngam » signifie littéralement le village de la belle forêt de teck. Néanmoins, à partir de 1960, le gouvernement y a accordé des concessions forestières, et les villageois et les personnes extérieures ont alors commencé à défricher de grandes parties de la forêt pour le bois, mais également pour créer des champs en pâturage. Le territoire à l'intérieur du bassin hydrographique s'est peu à peu détérioré et les ruisseaux se sont asséchés. Étant donné que les conditions de vie des populations dépendent fortement des ressources en eau, aujourd'hui diminuées, un groupe de villageois a alors tenté d'arrêter le déboisement et de rétablir l'équilibre lié à l'eau, grâce à l'utilisation de barrages.

Mise en œuvre

Afin d'acheminer à nouveau l'eau dans ces zones, diverses initiatives ont été mises en place afin d'aider les communautés à prendre les mesures nécessaires pour collecter et stocker les eaux de pluie, afin de les utiliser au cours de la saison sèche. Une douzaine de ces initiatives ont été élaborées selon le concept de conservation et de restauration des ressources naturelles, enseigné au Huay Hongkhrai royal Development Center (HHRDC)³⁰. Le roi Bhumibol Adulyadei a développé des initiatives pour rétablir les ressources en eau et forestières à travers le pays. Suite aux activités de l'HHRDC, les habitants du village de Pasak Ngam ont réussi à arrêter progressivement les pratiques illégales d'exploitation forestière et à améliorer les pratiques agricoles de conservation. La construction de barrages dans la région s'est ainsi révélée l'élément clé du reboisement de la forêt et de l'amélioration de l'agriculture de conservation. La planification de la construction de barrages a commencé avec l'arpentage et la cartographie des zones. Les données nécessaires recueillies comprenaient : (a) Les caractéristiques géographiques du bassin hydrographique (y compris les types de sols, les pentes, les taux d'érosion, etc.), (b) des statistiques concernant les précipitations et les débits de la rivière, (c) des informations relatives aux voies d'eau (longueurs, largeurs et profondeurs), (D) des informations sur les matériaux locaux disponibles pour la construction des barrages. En fonction de ces données et de l'objectif spécifique du barrage de retenue (conservation des forêts et de l'eau, à des fins domestiques ou agricoles), des sites de construction ont été

30 Les concepts de conservation du centre soulignent la coexistence et l'interdépendance de l'homme et de la forêt, sans toutefois qu'ils exercent négativement des effets l'un sur l'autre. Le centre a soutenu les villageois vers une démarche d'autonomie, grâce à l'introduction de l'agriculture conservatrice, réduisant la nécessité du revenu de l'exploitation forestière.

sélectionnés le long des voies d'eau.

Les barrages de retenue construits peuvent être grossièrement classés en 3 types :

I. Les barrages de retenue basiques, simplement construits en utilisant des matériaux locaux disponibles. Ce type de barrage est utilisé pour retenir les sédiments et ralentir le mouvement de l'eau dans les bassins hydrographiques ou les cours d'eau de premier ordre. La construction est réalisée à travers les cours d'eau d'environ 1 à 4 mètres de large et de 0,5 à 1 mètre de profondeur. Le barrage de retenue basique peut avoir de nombreuses formes et peut être construit de différentes manières, en fonction des matériaux disponibles. La plupart sont construits selon le savoir local. En voici quelques exemples :

- Le seuil à encoffrement. Cette méthode utilise des rondins et des branches de bois pour réaliser un encoffrement. Des roches, des sacs de terre ou de sable (ou de mélange de sable avec du ciment) sont alors placés à l'intérieur. Les fondations de l'encoffrement doivent être fixées dans le sol, à au moins 0,3 mètre de profondeur. Si le cours d'eau s'avère d'une largeur supérieure à deux mètres et que le niveau de l'eau est assez élevé, les seuils doivent alors être construits en cascade.
- Le seuil en bambou. Des branches de bambou (et des rondins) sont utilisés pour fabriquer deux panneaux. Ces panneaux sont placés en parallèle à travers le cours d'eau. De la terre est ensuite versée entre ces deux panneaux, jusqu'à les remplir totalement. Différentes tailles de roches peuvent également être placées devant et derrière les panneaux, afin de renforcer le seuil (figure 18).
- Le seuil de sacs. Ce seuil reste le plus approprié pour les cours d'eau de faible pente, d'une largeur maximum de deux mètres, et d'un faible niveau d'eau. Cette méthode fait appel à des sacs de terre ou de sable mélangés avec du ciment, placés les uns sur les autres, sur 4 à 6 rangées. Des pieux sont martelés sur et autour des sacs pour les fixer ensemble.
- Le seuil en gabions. Afin de construire le seuil, des roches sont posées sur le lit de la rivière en guise de fondation. Les gabions contenant les roches sont placés en travers du courant. Des tiges d'acier sont utilisées pour fixer les gabions ensemble. Du béton, des roches et des branches de bambou peuvent être également ajoutés pour renforcer le seuil. Au cas où il est nécessaire de stocker l'eau, des sacs contenant du sable mélangé avec du ciment peuvent être utilisés et installés devant le seuil.



Figure 18. a et b. Les villageois ont construit un barrage de retenue basique dans l'une des petites rivières, avec des matériaux locaux. (Photo : Institut d'hydro et agro informatique de Bangkok (HAI)).

II. Les barrages de retenue semi-permanents, construits avec des roches et des barres en acier, avec revêtement en béton armé. Les fondations de ces barrages doivent être fixées à une profondeur de 0,7 à 1 mètre en dessous du niveau du lit du cours d'eau. Ce type de barrage est souvent construit sur les cours d'eau de second ordre, dans l'objectif de bloquer les sédiments et stocker une partie de l'eau pour son utilisation. La construction reste plus coûteuse, mais également durable.

III. Les barrages de retenue permanents sont construits avec du béton armé, souvent à la fin des voies d'eau n'excédant pas plus de quatre mètres de large. La fondation du barrage doit atteindre un sol dur ou une couche de roche d'environ un mètre de profondeur. Le barrage doit être construit à travers le cours d'eau à environ 1 - 1,5 mètre de profondeur dans les berges, de chaque côté. Ce type de barrage est solide et durable, mais le coût de la construction est également plus élevé. Il est approprié pour les zones observant une pente douce et une grande quantité d'eau de ruissellement. Ce barrage convient davantage pour le stockage de l'eau destinée à être utilisée pendant la saison sèche.

Coûts et bénéfices

Les coûts de construction d'un barrage de retenue varient en fonction de son type et du matériel utilisé. Un barrage de retenue basique coûte entre 500 et 1000 THB (Baht, soit entre 17 et 34 dollars US) s'il est construit avec des matériaux disponibles localement ; et de 1 000 à 5 000 THB (Baht, soit de 34 à 167 dollars US) si les matériaux de construction doivent être achetés en dehors de la région. En ce qui concerne les barrages semi-permanents et permanents, le coût de construction peut aller jusqu'à 10 000 THB (334 dollars US).

La poursuite du projet à Pasak Ngam, ainsi que la maintenance, se sont avérés être durable. Conduit par les villageois (avec un soutien de l'extérieur), le projet a vraiment répondu à leurs besoins. Ils ont développé un sentiment d'appartenance et de responsabilité de ce qu'ils ont construit avec leur propre travail. En outre, compte tenu de leurs expériences passées, ils sont maintenant beaucoup plus sensibles à l'importance que revêt la disponibilité de l'eau pour la qualité de leur vie.

Au cours des années ayant suivi la mise en œuvre du projet, des changements ont peu à peu commencé à apparaître :

- Les cours d'eau et les ravines ont commencé à avoir de plus en plus d'eau. Certains des cours d'eau réhabilités ont maintenant à nouveau de l'eau toute l'année.
- Les barrages de retenue ont contribué à la conservation de l'eau pour l'usage domestique, mais également petit à petit pour le bétail et l'agriculture.
- Étant aujourd'hui disponible pour l'agriculture, l'accès à l'eau a permis aux villageois de rester avec leur famille, sans avoir besoin de rechercher un emploi en ville. Petit à petit, ils ont ouvert des sentiers naturels et ouvert leur village à des visites écotouristiques et d'étude, créant ainsi une source supplémentaire de revenus.
- Les zones forestières ont été revalorisées et le couvert forestier a progressivement augmenté. Par ailleurs, la restauration de la forêt et de la biodiversité a favorisé la disponibilité des aliments forestiers, plantes médicinales, et des matériaux naturels pour les villageois. Cela a créé un revenu supplémentaire et a également réduit les dépenses des foyers au cours de l'année.
- La teneur en humidité des sols a augmenté.

- Le couvert végétal et les forêts ont augmenté de manière plus dense.
- La fréquence et la gravité des incendies de forêt a réduit de manière significative.
- La biodiversité de la région s'est également améliorée. Les villageois ont observé que les insectes, les poissons, les crabes et les oiseaux de la région ont augmenté en nombre. Ils ont notamment remarqué le retour de nombreuses espèces qui avaient disparu depuis des années.

Mécanismes de financement

Les habitants de Pasak Ngam ont reçu des fonds pour la mise en œuvre des barrages de retenue, un soutien en espèces et en nature provenant de leurs instituts partenaires, réseaux et connexions, tels que le Huay Hongkhrai Royal Center développement, la fondation Coca-Cola Thaïlande, l'Institut d'hydro et agro informatique de Bangkok (HAII) et le groupe Siam Cement. La construction de barrages de retenue a été soutenue par des organisations différentes, à la fois des secteurs public et privé. La force de travail a été essentiellement apportée par les villageois, la plupart des barrages de retenue ayant été construits uniquement par eux, sans soutien extérieur. Certains ont été construits par des volontaires provenant d'écoles, d'organisations non gouvernementales et d'entreprises privées.

Réussites et défis

La persévérance et la collaboration entre les villageois a été la clé de la réussite du projet. Avec l'aide du Huay Hongkhrai Royal Development Center, les villageois ont construit plus de 300 barrages en amont des sept principaux cours d'eau autour du village. Depuis lors, de 500 à 1000 barrages de retenue ont été construits chaque année à travers les voies d'eau. La maintenance annuelle étant importante, les villageois se relayent chaque année pour assurer le suivi et la réparation des barrages de retenue et des déversoirs. Ils ont notamment établi un « groupe de conservation et de protection de la forêt », chargé de veiller sur les incendies de forêt et l'exploitation forestière illégale. Le groupe a ainsi participé au reboisement, et a également constitué des barrières coupe-feu. Des règles communautaires pour la collecte des produits alimentaires et matériaux issus de la forêt ont été collectivement élaborées et écrites, dans le but de réduire au minimum les conflits entre les villageois et les impacts des activités humaines sur l'environnement.

L'amélioration de la régulation de l'eau dans la partie supérieure du bassin hydrographique du village de Pasak Ngam profite non seulement à ses habitants, mais également aux populations présentes en aval, dans les provinces de Chiang Mai et de Lampoon. Le réservoir de Maekuang Udomthara fournit ainsi de l'eau pour les usages domestiques et agricoles dans les deux provinces.

Dans le cas des barrages de retenue semi-permanents et permanents, il est important de considérer la force du barrage dans le contexte de problèmes liés à l'érosion, provoquée par de fortes pluies ou des inondations. Les fondations doivent être solides et le barrage doit avoir un nombre suffisant de déversoirs pour libérer les eaux de crue, de sorte qu'elles ne nuisent pas à la digue.

Il est à noter que les barrages de retenue doivent être construits après la saison des pluies. Il est recommandé de planter aux alentours des arbres adaptés aux zones humides (comme le Croton à feuilles de saule). Leurs racines aident à maintenir le sol autour des barrages. Après l'enracinement

des arbres, le reboisement d'une zone plus large peut être démarré.

Il est recommandé de construire sur de plus petits espaces les barrages de retenue présents dans des zones plus pentues.

Références

Institut d'hydro et agro informatique de Bangkok (2010). The 3rd Competition of Community Water Resource Management according to His Majesty the King's Initiatives (Le 3e Concours de la gestion communautaire des ressources hydriques, selon une initiative de Sa Majesté le Roi) ; Bangkok [en ligne] Disponible à l'adresse : [http:// www.haii.or.th](http://www.haii.or.th) [Consultable depuis le 21 mai 2012]

DNP. Checkdam project (Projet de barrage de retenue) [en ligne] Disponible à l'adresse : <http://www.dnp.go.th/Watershed/checkdam1.htm> [Consultable depuis le 21 mai 2012]

Pasak Ngam Project (Projet de Pasak Ngam) [en ligne] Disponible à l'adresse : <http://www.pasakngam.ob.tc> [Consultable depuis le 21 mai 2012]

5.3 Karez améliorés

Qila Iskan Khan, Pakistan

Les karez - ou puits verticaux - sont parmi les plus anciens systèmes de mise en exploitation des eaux souterraines. La technique trouve son origine en Iran et reste connue sous différents noms: qanats, foggara, ou encore aflaj. Dans la province du Baloutchistan, au Pakistan, ces puits sont appelés karez. L'eau est acheminée grâce aux karez jusqu'aux terres agricoles en utilisant la gravité, sauvant ainsi une quantité de main-d'œuvre considérable par rapport à l'irrigation à partir de puits creusés, utilisant le travail manuel ou les roues persanes.

Les technologies

Un karez est un conduit souterrain presque horizontal, provenant d'un aquifère à une altitude plus élevée et transportant l'eau sous l'effet de la gravité. Le karez commence généralement au pied d'une montagne, où se trouvent généralement les sources souterraines (figure 23). À cet endroit, les constructeurs de karez creusent un ou deux puits verticaux en profondeur, dans les couches renfermant l'eau. Ces puits sont appelés puits mère, puisqu'ils fournissent la majeure partie de la quantité totale d'eau fournie distribuée par le système de karez. Leurs profondeurs peuvent aller jusqu'à 50 mètres. Une fois que les puits mère sont établis, d'autres puits (les « puits de ventilation ») sont creusés sur l'ensemble du parcours, dans une ligne plus ou moins droite, jusqu'au périmètre d'irrigation. Ces puits en aval ne pénètrent pas dans l'aquifère et ne sont utilisés que pour la conduite horizontale des eaux souterraines. Certains karez puisent dans l'écoulement souterrain à proximité de rivières asséchées.



Figure 19. Section transversale et vue d'ensemble d'un système de karez (Source : Kamaz, Z. 2010).

La construction de karez consiste à utiliser les puits d'accès, pour creuser les sections horizontales entre eux. Cela reste une tâche extrêmement difficile, surtout lorsque l'eau commence à couler, et est donc effectuée par les travailleurs spécialisés. Un réservoir est souvent construit à la fin du karez, d'où l'eau potable est amenée pour le bétail. Les canaux d'irrigation commencent en aval du réservoir. L'entretien des karez est difficile. Les débris et la végétation peuvent en effet bloquer l'écoulement de l'eau dans le karez et doivent donc être enlevés chaque année (figure 20).

Où cela est-il appliqué ?

Les Karez sont communs dans de nombreuses régions du monde, mais leur présence tend à diminuer, pour deux raisons : (1) l'utilisation intensive des eaux souterraines, provoquant une baisse importante des niveaux d'eau et (2) les coûts de maintenance relativement élevés. Qila Iskan Khan, au Baloutchistan, ne fait pas exception à cette réalité. Ce petit village composé de 82 foyers est situé dans le canton de Pishin. Les précipitations sont rares et ne dépassent guère 200 mm par an. Malgré cette limitation, l'économie du village est basée sur l'agriculture et donc directement dépendante de la disponibilité de l'eau. L'eau provenant de l'écoulement souterrain de la rivière Burshore Manda est détournée, au moyen d'un système de karez.



Figure 20. Un nettoyeur spécialisé dans les Karez, à Qila Iskan Khan, sortant avec une touffe d'herbe retirée du lit du canal souterrain. Le karez étant rempli d'eau, les nettoyeurs retiennent leur souffle lors de l'exploration. En raison des risques élevés et des compétences particulières requises, le nettoyage de Karez est un emploi bien rémunéré (Photo : UICN Pakistan, 2010).

Un conduit d'infiltration est creusé en dessous du lit de la rivière et l'eau est ensuite acheminée jusqu'au périmètre d'irrigation, à travers un tunnel de 1,75 km. Jusque dans les années 1990, cette technique a considérablement appuyé l'expansion de l'horticulture. Quelque 24 hectares de terres ont été développés pour les productions de pommes et de raisins, irrigués par le karez, ainsi que par des puits tubulaires. Toutefois, pendant les sécheresses ayant sévi entre 1996 et 2003, le karez et les puits agricoles ont été durement touchés. La décharge a considérablement diminué, affectant les vergers. Le karez s'est retrouvé obstrué à plusieurs endroits et a été alors abandonné. La majorité des villageois ont migré vers les villes voisines - avec seulement deux familles restant dans le village pour s'occuper de la terre et des autres biens.



Figure 21. Qila Iskan Khan, Baloutchistan, Pakistan

Mise en œuvre

Avec l'aide de l'UICN, le système de karez de Qilla Iskan Khan a été modernisé et son captage a été protégé. Tout d'abord, les conduits souterrains à cinq branches d'alimentation ont été nettoyés par un puisatier spécialiste de karez, venant d'Afghanistan. Une nouvelle technologie a été introduite : le revêtement de pierre du karez a été remplacé par des tuyaux en PVC épais. Une fois que suffisamment d'espace a été créé, ces tuyaux en PVC perforés ont été insérés dans les canaux souterrains. Les écoulements des conduits de karez ont ensuite été combinés en un seul canal principal, permettant à l'eau d'être transportée à travers un tuyau en PVC de 700 mètres de long et de 30 cm de diamètre (figure 22 a), jusqu'à un réservoir d'eau nouvellement construit (figure 22b). L'étang, d'un volume total de 1 420 m³ a été bordé de géo-membrane pour réduire les pertes



Figure 22. a) Les villageois prennent une pause, pendant les travaux d'amélioration du système de karez de Qilla Iskan Khan. Ils installent un tuyau d'infiltration en PVC de 30 cm de large à l'intérieur du karez; b) Le réservoir en géo-membrane (Photo : UICN Pakistan, 2011 et 2010).

par infiltration. Les pertes liées à l'adduction d'eau ont été réduites à presque zéro grâce à ces mesures et la disponibilité réelle en eau a plus que doublé. En stockant l'eau dans le réservoir, il est également devenu possible de concentrer les écoulements vers les vergers. En outre, le captage a été protégé par la plantation d'oliviers, mais également par l'interdiction de pâturage du bétail dans le périmètre, afin d'améliorer la recharge locale. Des bassins en forme de croissant (micro-bassins) ont été introduits pour la conservation de l'eau. Deux bacs de lavage pour les femmes et une pépinière avec 40 000 plantes en pots ont été mis en place.

Coûts et bénéfices

Le coût total du projet s'est élevé à 2 300 000 PKR (roupie pakistanaise, soit 300 000 dollars US), dont 20% ont été apportés par les utilisateurs. Au cours de la première saison culturale, suite à l'achèvement du projet, les agriculteurs ont connu des rendements prometteurs (tableau 9). La production de légumes a été fructueuse, en particulier celles de poivron vert, tomates, aubergines et de luffa. Pendant la période des récoltes, la production s'est révélée suffisante pour envoyer deux camions par jour sur le marché voisin de Pishin. Au total, la vente de légumes a généré aux habitants de Qila Iskan Khan un revenu de plus de 14 millions de PKR (soit 149 000 dollars US). Les bénéfices entraînés par le projet sont donc évidents, si l'on considère que les coûts représentaient seulement un sixième des rendements générés dans la première année.

Mécanismes de financement

Les activités ont été financées en tant que projet. Une partie des finances a été apportée grâce à la contribution des agriculteurs. L'investissement a permis de restaurer le système de karez, de sorte qu'il est devenu possible aujourd'hui de continuer à le faire fonctionner sans heurts. Le coût relatif à la maintenance a été considérablement réduit suite à l'introduction de galeries d'infiltration en PVC. Les efforts de réhabilitation ont permis de voir le débit d'eau dans le karez passer de 20 à plus de 70 L/s, mais également de stocker l'eau pour une période plus longue. Ces avantages ont permis aux

Tableau 8. Les rendements des cultures grâce au système de karez amélioré, en 2011

Culture	Quantité produite (kg)	Prix du marché (PKR*kg ⁻¹)	Recette totale (PKR)	Production avant intervention (kg)
Blé	79 400	28	2 223 200	23 000
Tomates	71 300 **	30	2 139 000	Nul
Poivron vert	40 600**	50	2 030 000	Nul
Aubergine/Luffa	53 500**	35	1 872 500	Nul
Vulnéraire	18 100	60	1 086 000	Nul
Oignon	6 770	30	203 100	Nul
Raisin	65 000	55	3 575 000	40 000
Carotte	60 000	20	1 200 000	Nul
Total	394 670		14 145 600	63 000

* PKR : Roupie pakistanaise; ** Mesuré en cours de production

agriculteurs d'étendre le périmètre d'irrigation, de 24 hectares de vergers et de cultures fourragères avant le projet, à 120 hectares en maraîchage, seulement pendant la saison culturale de 2011.

L'exode de la communauté a alors commencé à s'inverser. Beaucoup ont commencé à revenir dans leur village pour retrouver leurs terres. Les activités agricoles sont aujourd'hui en plein essor. La sécurité de l'approvisionnement en eau a également permis aux agriculteurs de diversifier et d'intensifier leurs modes de culture. En conséquence, la production de raisin a augmenté et une grande variété de légumes a été introduite dans la région, notamment des tomates, oignons, poivrons verts, carottes, aubergines et luffa.

Réussites et défis

On peut citer, outre que la production accrue de cultures, les autres résultats du projet : (I) une pépinière de 40 000 plantes en pots développée pour les cultures à forte valeur ajoutée comme les olives, les amandes et la grenade, (II) une production agricole irriguée par les eaux de pluie récoltées dans des bassins en forme de croissant et (III) un maintien de l'élevage grâce à l'augmentation de la couverture de la végétation dans le bassin. Les résultats observés à Qila Iskan Khan sont aujourd'hui largement considérés comme un succès, et le projet est donc reproduit dans d'autres zones au Baloutchistan.

La technologie du tuyau d'infiltration en PVC a également permis de résoudre un des plus grands défis du maintien des karez - la lourde tâche liée à la restauration des conduits souterrains dans le lit graveleux. La restauration et la modernisation du karez grâce à l'utilisation de tuyaux en PVC a stabilisé le débit d'eau.

Cette modernisation devrait permettre d'éviter les problèmes ayant conduit à l'échec du système en premier lieu, au cours des sécheresses ayant sévi entre 1996 et 2003.

Bien qu'un karez fournisse un écoulement durable de l'eau, le développement d'un village exige des débits d'eau élevés. Puisqu'une autre augmentation substantielle de l'écoulement dans le karez reste impossible, d'autres sources d'eau doivent être identifiées pour soutenir les besoins du village

qui se sont mis à croître.

Une vidéo du système de karez à Iskan Khan est en ligne : www.iucn.org et www.thewaterchannel.tv

Références

UICN (2011). Of pearls in the sand (Des perles dans le sable). Documentaire vidéo [en ligne]
Disponible à l'adresse : <http://www.iucn.org/about/union/secretariat/offices/asia/?uNewsID=9050>
[Consultable depuis le 22 mai 2012].

Lightfoot, D.R. (2000). The Origin and Diffusion of Qanats in Arabia: New Evidence from the northern and southern Peninsula (L'origine et la diffusion des Qanats en Arabie : de nouvelles études provenant des péninsules du nord et du sud). *The Geographical Journal*, vol. 166, N° 3, Septembre 2000, pp. 215-226.

5.4 Approvisionnement en eau à travers une gestion des systèmes de recharge des aquifères

Régions centres de la Namibie

La Namibie est le pays le plus aride d'Afrique sub-saharienne, subissant des sécheresses fréquentes et une distribution géographiquement inégale des ressources en eau. Les rivières pérennes se situent sur les frontières nord et sud du pays, à une distance considérable des principaux centres d'où provient la demande, notamment dans la région centrale de la Namibie (RCN), et le pays reste donc largement tributaire des eaux souterraines.

Les barrages installés sur les rivières éphémères restent la principale source d'approvisionnement en eau des grands centres urbains du centre du pays. L'afflux dans ces barrages est irrégulier et peu fiable, et les taux d'évaporation face au climat aride de la Namibie sont élevés. Le rendement sécuritaire assuré par ces barrages est par conséquent faible. Un développement économique stable a entraîné une augmentation de la demande en eau dans la RCN. Dans un avenir très proche, les ressources en eau existantes ne seront pas en mesure de répondre à la demande attendue de façon durable.

Windhoek, la capitale de la RCN, doit son existence à la présence de sources, ayant fourni une grande quantité d'eau lorsque la colonisation a commencé. Un champ de puits a été établi plus tard et au fil du temps, la ville ayant grandi, des barrages de stockage ont ensuite été établis sur les rivières éphémères. Windhoek obtient actuellement son eau à partir d'un système assuré par 3 barrages (approvisionné par NamWater), d'une usine de récupération des eaux usées dans la ville, et d'un champ de puits municipal.

Lorsque les trois barrages sont exploités sur une base individuelle, le rendement sécuritaire de 95% représente seulement 13 Mm³/an, principalement en raison des énormes pertes par évaporation des barrages de Omatako et de Swakoppoort. Grâce à l'utilisation intégrée des trois barrages, l'eau est transférée et stockée dans le barrage de Von Bach, observant un taux d'évaporation plus faible en raison des caractéristiques du bassin du barrage. Ce mode opératoire améliore le rendement sécuritaire de 95% du système de 3 barrages d'environ 7,0 Mm³/an, pour un total de 20,0 Mm³/an. Selon les prévisions de demande en eau, basées sur le scénario de croissance attendue, la demande en eau augmentera de 25,0 Mm³ à environ 40 Mm³ en 2021.

Les technologies

L'étude réalisée par NamWater (2004) sur les approvisionnements en eau supplémentaires à la RCN a permis de sélectionner trois principales options de développement à évaluer :

- La gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek (en utilisant le surplus d'eau à partir des barrages de la région centrale pour augmenter les réserves d'eau souterraine stockées)
- Les aquifères de Tsumeb et Karst III, utilisés uniquement pour l'alimentation d'urgence de la RCN.

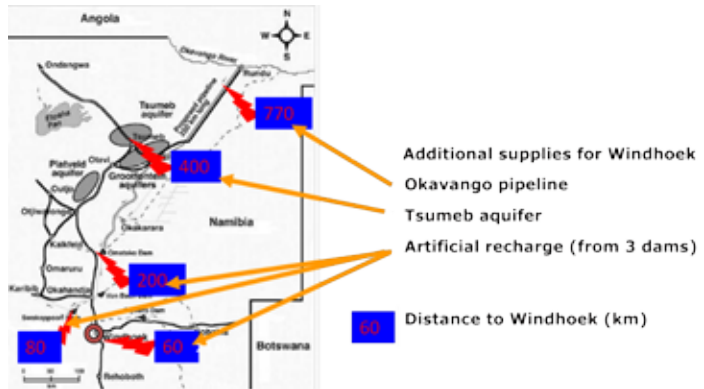


Figure 23. Options supplémentaires d'approvisionnement en eau de Windhoek.

- Une conduite d'eau depuis la rivière Okavango pour l'approvisionnement de la RCN en cas de besoin (figure 23).

Il a été constaté que la meilleure de ces options était la gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek, associée à des forages profonds, afin d'accroître l'accès à un plus grand volume de réserves stockées (une plus grande banque de l'eau, au moyen de forages profonds).

L'exploitation de l'aquifère de Windhoek depuis 1950 a créé un site de stockage souterrain, avec une capacité estimée à 21 Mm³. L'installation peut être remplie au moyen de la recharge naturelle et artificielle. Le stockage total estimé pouvant être prélevé à partir de forages existants est d'environ 15 Mm³, donnant un stockage utilisable total (la « banque de l'eau ») de 36 Mm³. Grâce à la réalisation de forages d'extraction profonds, la taille de cette « banque de l'eau » sera portée à environ 66 Mm³, pouvant combler en excès l'approvisionnement de la demande de Windhoek pendant 2 ans.

Cette option de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère consiste à prendre l'eau du système de 3 barrages, lorsqu'il y a des surplus d'eau disponibles, puis la purifier et l'injecter dans l'aquifère de Windhoek via les forages (voir figure 24). Elle permet de diminuer l'évaporation, ainsi que les pertes liées au trop-plein des barrages. L'eau souterraine stockée peut alors être exploitée les années où les sources de surface ne fournissent pas assez d'eau. En effet, le dispositif de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek améliore l'utilisation efficace des sources existantes, augmentant ainsi les volumes disponibles et assurant la sécurité de l'approvisionnement.

Coûts et bénéfices

Dans une évaluation des options alternatives d'augmentation de l'approvisionnement en eau de la RCN, la création d'une banque de l'eau, au moyen de la gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek, associés à des forages profonds, a été jugée comme la meilleure option pour favoriser l'accès à un plus grand volume de réserves stockées (tableau 9).

Un développement économique stable a entraîné une augmentation de la demande en eau de la RCN et dans un avenir très proche, les ressources en eau existantes ne pourront pas répondre de façon durable à la demande attendue. Windhoek est, par conséquent, à la limite d'un approvisionnement en eau insuffisant. En cas de pénuries d'eau extrêmes, les pertes économiques

Tableau 9. Les coûts de l'eau (2011)

Approvisionnements existants et supplémentaires	Type d'approvisionnement	Coût (\$US/m ³)
Approvisionnements existants	Eaux souterraines	0,71
	Eau de surface	0,90
	Eaux usées traitées	1,19
	Ré-utiliser	0,71
Suministros adicionales (Figura 23)	Conduite d'eau d'Okavango	35,6
	Aquifère de Tsumeb	4,3
	Gestion des systèmes de recharge des aquifères	2,0

réelles à la suite de la non-disponibilité de l'eau seraient catastrophiques pour l'économie namibienne. La baisse de la production économique est directement liée à l'ampleur de ces pénuries d'eau. Windhoek a contribué à environ 50% des 5,26 milliards NAD (Dollar namibien, soit 620 millions de dollars US) générés par le secteur des produits manufacturés (à l'exclusion du secteur de transformation du poisson sur la côte) en 2006, et la fermeture de l'industrie à Windhoek, qui résulterait de la non-disponibilité de l'eau, se traduirait alors par une perte de 2,63 milliards NAD (310 millions de dollars US) par an pour la Namibie, sur la base du produit intérieur brut de 2006.

À l'échelle nationale, l'optimisation de la production des barrages alimentant Windhoek et son aquifère réduit la nécessité d'importer de l'eau, plus chère, à partir de sources éloignées, au Nord. Cela permettrait également de reporter la construction d'un canal vers la rivière Okavango, un projet se révélant à la fois coûteux et source de nombreux problèmes environnementaux. La mesure aidera également à réduire de manière significative la taille des futurs dispositifs d'augmentation.

Volet institutionnel

La mise en œuvre de la sécurité de l'approvisionnement au moyen de la gestion des systèmes de recharge de l'aquifère doit être accélérée, puisqu'une pénurie d'eau supplémentaire en période de sécheresse aura un effet dévastateur sur l'économie. Il est important que les fournisseurs de services et l'organisme de réglementation coopèrent étroitement, afin de mener à bien ce projet. La participation des principales parties prenantes pour assurer l'appropriation locale et nationale du projet est également essentielle.

L'infrastructure de l'aquifère est actuellement détenue et exploitée par la ville de Windhoek, tandis que la majeure partie de l'infrastructure d'approvisionnement en eau dans la RCN est détenue et exploitée par NamWater. La gestion et l'exploitation des systèmes de recharge de l'aquifère nécessitent l'expertise et le dévouement, et cet aspect doit être pris en considération afin d'assurer l'utilisation optimale des ressources et des infrastructures disponibles. Il est essentiel que la gestion du système soit correctement coordonnée entre NamWater et la ville de Windhoek.

En 2007, un protocole d'accord trilatéral a été signé entre le ministère de l'Eau et des Forêts, NamWater et la Ville de Windhoek, pour obtenir un financement pour le projet. Le ministère de l'Eau et des Forêts a établi un Comité technique de pilotage pour le projet de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek (WARSCO). Les membres représentent NamWater et la Ville

de Windhoek ; la présidence est assurée par un représentant du ministère de l'Eau et des Forêts. En ce qui concerne le succès de ce projet, on ne saurait trop insister sur l'importance d'un régulateur afin de contrôler le respect du plan de service de l'eau des fournisseurs de services, mais également des stratégies relatives à la conservation et à la demande. La gestion de la ressource et le maintien de son prix abordable, sont deux composantes devant être menées de manière conjointe.

Les membres du projet WARSCO ont constaté que certains aspects institutionnels, techniques et financiers exigent également une attention. En raison de l'importance d'un approvisionnement fiable en eau à la RCN, il est suggéré que le projet de recharge de l'aquifère de Windhoek soit classé par le gouvernement comme un projet d'importance stratégique pour la Namibie.

Afin de suivre la mise en œuvre du projet, il est recommandé que les trois barrages, y compris l'infrastructure partagée (en aval du barrage de Omatako) et l'aquifère de Windhoek, soient déclarés comme une zone de gestion de l'eau, en conformité avec la Loi sur la gestion des ressources en eau de 2004 (après promulgation des amendements à la nouvelle Loi sur la gestion des ressources en eau).

Participation des parties prenantes

La politique de l'eau en Namibie souligne la nécessité d'une approche intégrée de la gestion des ressources en eau et il est recommandé qu'un Comité consultatif de gestion du bassin soit établi, au regard du projet de Loi sur la gestion des ressources en eau de 2004. L'engagement et la collaboration des principales parties prenantes au niveau national, dans la conception et la détermination de la portée du projet, est considéré comme un élément essentiel à la réussite du projet pour développer un profil pertinent pour la gestion de l'eau. Les possibilités de partenariats public-privé doivent être explorées activement et initiées.

Conclusions

L'objectif principal du dispositif de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek vise à améliorer la sécurité de l'approvisionnement en eau de la région centrale de la Namibie (RCN), pour répondre aux besoins croissants en eau, problématique majeure dans le soutien de la croissance économique de la Namibie. La mise en œuvre du dispositif de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek reste la solution la plus adéquate, comme cela a été prouvé par différentes études de faisabilité menées entre 2002 et 2004.



Figure 24. Forage de points d'eau profonds, afin d'accroître l'accès à un plus grand volume de réserves d'eaux souterraines stockées.

Mis à part le fait que le dispositif de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de Windhoek se révèle l'option la plus rentable, le projet peut être déployé par étapes selon les besoins et permettra de réduire ou de retarder la mise en œuvre immédiate des futurs dispositifs d'augmentation. Elle contribuera non seulement à rendre les alternatives à faible rendement plus viables, mais également à diminuer les impacts environnementaux par

rapport à d'autres alternatives.

Ne pas saisir cette opportunité aura des conséquences dévastatrices pour la sécurité future de l'approvisionnement de la RCN. Le renforcement de la participation des parties prenantes et du public est considéré comme un élément essentiel à la réussite dans la gestion de l'eau et dans le projet de gestion des systèmes de recharge de l'aquifère de la RCN. Étant donné les effets relativement inconnus du réchauffement climatique sur la sécurité de l'approvisionnement en eau (températures plus élevées, plus grande évaporation et réduction de la pluviométrie), stocker des réserves d'eau souterraine pour une utilisation pendant les périodes de pénurie se trouve être une nouvelle solution.

Références

Environmental Engineering Services (Services de génie et de l'environnement), 2009. Artificial Recharge of the Windhoek Aquifer as best option for supply augmentation to the Central Area of Namibia (La recharge artificielle de l'aquifère de Windhoek comme option privilégiée pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau de la région centrale de la Namibie), Projet de rapport, ministère de l'Eau et des Forêts.

Van der Merwe, B., 2006. Criteria for the allocation of licenses for the abstraction of water in the Tsumeb-Grootfontein-Otavi Subterranean Water Control Area (Critères pour l'attribution de licences pour la production d'eau dans la zone de contrôle des eaux souterraines Tsumeb-Grootfontein-Otavi.)

5.5 Création de bulles d'eau douce dans les eaux souterraines saumâtres

Bangladesh

Le Bangladesh connaît au cours des derniers mois de la saison sèche des pénuries d'eau sévères, même dans les régions où il n'y a pas de stockage naturel de l'eau douce souterraine. Dans ces régions, des mesures sont nécessaires pour garantir la disponibilité de l'approvisionnement en eau potable toute l'année. L'UNICEF, en collaboration avec le Département de génie sanitaire (DPHE), a lancé un projet de recherche d'action pour améliorer la situation. Son objectif vise à utiliser l'abondance de l'eau pendant la saison des pluies pour augmenter le stockage de l'eau douce épuisé en milieu urbain et rural. La région côtière du Bangladesh reste une zone d'intérêt, où la disponibilité de l'eau douce est réduite à cause de la présence d'eau souterraine saumâtre et où aucune source d'eau douce n'est disponible pendant une grande partie de la saison sèche (de novembre à juin). Le projet est mis en œuvre par le Département de géologie, de l'université de Dacca et Acacia Water (Pays-Bas). Quatre sites ont été achevés et testés en 2011 et 16 autres sites en 2012.



Figure 25. a) Collecte d'eau du lit de l'étang à sec; b) En attente de l'approvisionnement en eau par camion

Les technologies

La technologie consiste à infiltrer l'eau stockée dans un étang et l'eau de pluie en dessous de la couche d'argile en couverture (10-15 mètres) dans l'aquifère peu profond, au moyen de puits d'infiltration et de la création d'une bulle d'eau douce dans l'aquifère, pour une utilisation pendant la saison sèche.

La conception des dispositifs d'infiltration consiste en une source d'eau (un étang et / ou un toit), à partir de laquelle l'eau est infiltrée dans l'aquifère par 4 à 6 puits d'infiltration, ayant des diamètres de 30 à 55 cm. Lorsque l'eau de l'étang est utilisée pour l'infiltration, la turbidité est d'abord



Figure 26. Emplacement du site.

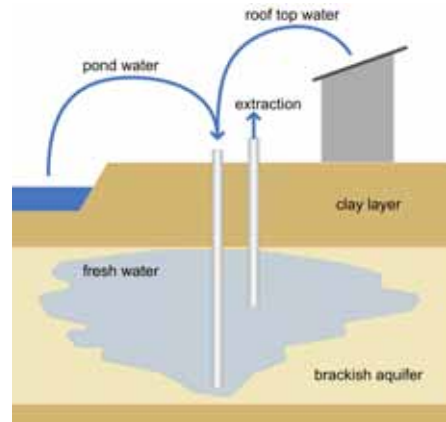


Figure 27. Conception des dispositifs d'infiltration.

éliminée en utilisant des filtres à sable pour éviter le colmatage. L'eau est mise en circulation à partir du réservoir de stockage vers les puits d'infiltration, au moyen de raccords de tuyaux en PVC munis de robinets-vannes et de débitmètres. Un certain nombre de puits d'observation ont été installés à différents endroits et profondeurs, afin de surveiller différents paramètres hydrogéologiques et physico-chimiques permettant de tester les taux d'infiltration et de suivre l'accumulation de la bulle d'eau douce (figure 28).

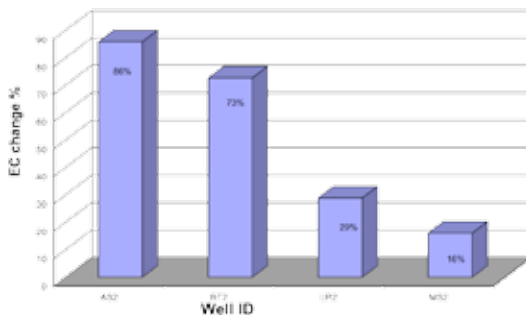


Figure 28. Changement de CE au fil du temps, exprimé en % de réduction par rapport aux conditions initiales.

L'essai réalisé sur 4 sites pendant la mousson de 2011 a montré que près de 600 à 800 m³ d'eau ont été infiltrés depuis le système d'étang à Batiaghata, et 400 m³ à Assasuni où l'infiltration par étang a commencé à la fin de la mousson. Les taux d'infiltration sur les sites, réalisée seulement avec de l'eau de pluie à Paikgachha (Laskar) et à Shyamnagar (Munshiganj), étaient de l'ordre de 200 à 250 m³.

Les données concernant la salinité des eaux souterraines à Batiaghata et à Assasuni illustrent clairement les impacts positifs de l'infiltration sur la salinité des eaux souterraines. À la fin de la période d'infiltration, la conductivité électrique (CE) à Batiaghata avait baissé de 2,6 à 0,7 mS / cm et à Assasuni de 6 à 0,8 mS / cm. Sur ces sites, les populations ont déjà commencé à chercher de l'eau pour leur consommation.

Les observations sur les autres sites ont montré qu'avec seulement l'infiltration des eaux de pluie, les volumes ne sont pas assez importants pour réduire la salinité et assurer la potabilité de l'eau, ce qui suggère que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour intervenir dans des sites à forte salinité. Un site observant une forte salinité a été délibérément choisi afin de tester la limite supérieure de salinité des eaux souterraines, pouvant être réduite par l'infiltration des eaux provenant des pluies et des étangs. En dehors de la salinité, il a été constaté une amélioration de la qualité en termes de fer, sur trois sites, et d'arsenic, sur l'un des sites où les concentrations d'arsenic



Figure 29. a) Construction d'un puits; b) Puits d'infiltration typique.

initiales étaient supérieures à la limite de la directive provisoire de l'OMS de 0,01 mg / L.

Où cela est-il appliqué ?

Dans la plaine côtière du Bangladesh, les zones appropriées pour la construction de ces sites dépendent d'un certain nombre de critères physiques, chimiques et sociaux:

- Là où l'eau douce souterraine profonde est disponible se trouve généralement la principale source d'eau douce. La première étape consiste donc à cartographier ces zones. Une fois que les zones sans (ou avec une faible densité de) puits tubulaires profonds ont été identifiées, la disponibilité d'autres technologies d'approvisionnement en eau a été considérée, tels que les puits tubulaires peu profonds manuels, les puits circulaires, les puits à massif filtrant très peu profonds et les filtres à sable en étang.
- Les zones n'ayant pas ces options, ou très peu, ont été identifiées pour la prochaine phase de l'enquête. Pendant cette phase, les critères sociaux tels que la densité de la population et la proximité d'une adduction d'eau, ont également été considérés. En outre, des cartes SIG à l'échelle du village ont été produites pour ces zones, et dans certaines zones sélectionnées, des forages exploratoires, ainsi que l'installation de puits tubulaires d'essai et d'échantillonnage à partir de sources d'eau existantes ont été réalisés.

Une évaluation des conditions dans les cantons de Khulna, Satkhira et Bagerhat montre que près de 2 millions de personnes vivent dans des zones où il n'existe pas d'autres sources d'eau douce (profondes ou non) disponibles pendant la saison sèche. Les autres critères de sélection de sites appropriés sont:

- une couverture d'argile relativement mince (moins de 15 m),
- une épaisseur considérable de l'aquifère peu profond (20 m),
- une conductivité électrique de l'eau souterraine modérément élevée (<10 000 uS / cm)
- d'autres paramètres de qualité de l'eau, tels qu'une faible teneur en fer et en arsenic,
- une disponibilité durable de l'eau de source depuis un étang (des secteurs privé et public, eau douce, pas de pisciculture) et depuis le toit (d'un bâtiment public ou appartenant à une

Tableau 10. Coûts capitalisés par m³ pour la construction, l'exploitation et la maintenance concernant 5 solutions typiques (données de terrain, 2011)

Type de système	Nbr. de personnes desservies	Consommation (l/c/d)	Nbr. de jours par an	Volume total (m ³ /an)	Coûts annuels capitalisés pour la construction, l'exploitation et la maintenance	
					(\$US/m ³)	(\$US/cons)
Stockage en aquifère	250	15	200	750	3	6
Collecte des eaux pluviales	11	6	150	10	13	11
osmose inverse	500	12	200	1200	12	29
système de canalisations en milieu rural	1500	25	365	13 500	1	8
Vendeur d'eau dans un village	200	15	200	600	8	24

communauté, ou d'un toit en tôle ondulée avec la taille adéquate),

- un facteur socio-économique, tel qu'une ONG partenaire locale, une bonne accessibilité et une volonté de la communauté de participer, et
- une consultation avec (et l'approbation de) le canton et l'upazila, les fonctionnaires et les institutions gouvernementales locales de la DPHE, telles que l'Union Parishads.

En supposant que certains de ces critères réduisent le potentiel de mise à l'échelle de 50%, il est encore possible d'atteindre 1 million de personnes avec ces systèmes.

Coûts et bénéfices

Le coût d'un système d'infiltration combinant l'eau de pluie et l'eau stockée dans des étangs est d'environ 600 000 BDT (Taka, soit 7 500 dollars US), dont la moitié du montant correspond au coût de la construction physique. L'autre moitié est consacrée à la conception, la supervision et le suivi. Dans ce projet, les travaux ont été achevés avec des matériaux disponibles localement, en utilisant des entrepreneurs locaux à chaque étape de la construction et de forage. Seuls quelques éléments, tels que les vannes et compteurs d'eau, ont été achetés à Dacca, la capitale nationale. Les travaux ont été supervisés sur place par un hydrogéologue et un ingénieur de conception de l'équipe de l'Université de Dacca.

Dans le tableau 10 sont présentés les coûts capitalisés par m³ pour la construction, l'exploitation et la maintenance concernant 5 solutions typiques, sur la base des données réelles récoltées sur le terrain en novembre 2011. Dans la première ligne du tableau apparaissent les coûts relatifs à l'infiltration et au stockage dans les aquifères. À titre de comparaison, les coûts de certaines techniques alternatives sont également présentés dans le tableau. Les deuxième et troisième lignes du tableau sont des alternatives dans nos domaines d'intervention. Les 2 dernières se trouvent dans le voisinage de notre zone cible, où des poches d'eau douce souterraine servent comme source d'eau pour les fournisseurs d'eau, ou lorsque l'eau douce souterraine profonde est disponible pour

alimenter un dispositif de canalisations d'eau en secteur rural.

Le principal avantage des systèmes reste un accès à l'eau potable moins cher et sécurisé pendant la saison sèche ; les options alternatives telles que des camions-citernes / fournisseurs, la collecte des eaux pluviales ou l'osmose inversée étant plus coûteuses et moins fiables. En outre, les dispositifs d'infiltration sont moins sujets à la sécheresse que la collecte des eaux de pluie et gardent les avantages globaux liés à l'exploitation et à la maintenance décentralisées, offrant à la communauté la possibilité de gérer leur source d'eau. Il est à noter que ces systèmes ont également protégés face aux inondations des crues cycloniques qui se sont produites pendant les cyclones Sidr et Aila.

Mise en œuvre

Les meilleurs résultats sont obtenus à partir d'un système d'infiltration combinant l'eau de pluie et l'eau stockée dans des étangs. Ces systèmes fournissent un volume récupérable moyen de 750 m³/an (en fonction de l'efficacité de la récupération de 0,75) et peuvent desservir 240 consommateurs avec 15 L/jour pendant la saison sèche (de 150 à 200 jours). Un système combiné offre alors plusieurs avantages:

- Les coûts d'investissement par m³ d'eau sont inférieurs à ceux relatifs au système d'infiltration de l'eau de pluie seul ou au système d'infiltration de l'eau stockée dans des étangs seul ;
- L'injection d'eau stockée en étang peut continuer pendant les jours sans pluie et le pompage de l'eau en étang peut être arrêté pendant les jours pluvieux ;
- l'eau de pluie permettra de réduire la salinité de l'eau stockée dans l'étang, résultant en une meilleure qualité de l'eau d'injection.

Les enseignements tirés de la construction et des essais sur les 4 sites en 2011 sont utilisés dans la construction de 16 sites supplémentaires, testés en 2012. Deux conceptions alternatives seront incluses dans cette phase finale de test :

- Infiltration gravitaire directe près de l'étang, avec un filtre à sable souterrain (aucune pompe nécessaire)
- Infiltration des eaux de pluie récoltées sur les toits à proximité des écoles et éventuellement d'autres bâtiments avec de grands toits, tels que les abris contre les cyclones.

Réussites et défis

Le résultat de l'essai de 2011 montre que la technologie d'infiltration est faisable, qu'elle peut être développée localement, qu'elle semble être appréciée par la population locale et qu'elle est probablement financièrement compétitive face aux options alternatives dans les zones sans ressources en eau douce souterraine.

- Les tests réalisés sur cette nouvelle technologie, mais également la gestion des systèmes de recharge de l'aquifère, pour l'approvisionnement en eau potable dans les régions côtières du Bangladesh, se sont révélés la plupart du temps positifs. Sur deux des quatre sites, les populations sont maintenant en mesure d'utiliser les installations d'eau potable. Cependant, le facteur de récupération reste encore à tester. Cela peut être fait après les pluies de mousson.

- Il est possible de construire de telles unités en utilisant des matériaux et foreurs disponibles localement, sous la supervision d'hydrogéologues et d'ingénieurs. L'implication des ONG dans la collecte de données de terrain et dans le suivi continu s'est avéré très utile.
- Les critères de sélection du site, la conception spécifique d'un site, les constructions et le suivi sont bien établis. Ils peuvent ainsi être utilisés pour la mise à l'échelle. La communauté locale a montré un vif intérêt dans la recherche et a apprécié le résultat, puisque l'eau peut désormais être collectée à travers un puits doté d'une pompe manuelle - la méthode la plus appréciée et la plus utilisée dans le Bangladesh rural.
- Le partenariat entre les chercheurs, les consultants, les représentants du gouvernement, les partenaires au développement et les ONG, s'est révélé être très efficace, en démontrant le potentiel de la technologie.
- Les foreurs de puits locaux peuvent être désormais formés pour construire de tels systèmes, sous la supervision de professionnels.

On constate dans l'ensemble un bon potentiel dans l'approvisionnement en eau potable pour plus de 1,5 millions de personnes dans les cantons côtiers de Bagerhat, Khulna et Satkhira utilisant la gestion des systèmes de recharge de l'aquifère.

Références

Acacia Water, Université de Dacca (2011), Creating Fresh Water Bubbles in Brackish Aquifers (Création de bulles d'eau douce dans les eaux souterraines saumâtres). Proceedings of National Water and Sanitation Technology Sharing Workshop (Actes de l'atelier de partage et d'apprentissage sur l'assainissement et l'approvisionnement en eau), UNICEF, le 27 novembre 2011, Dacca, Bangladesh.

Acacia Water, Université de Dacca (2011), Action Research on Groundwater Buffering in Bangladesh (Recherche-action sur la création de zones tampons au Bangladesh). Phase 3 Rapport final. UNICEF, Dacca, Bangladesh.

5.6 Stockage d'eau douce dans les zones ayant des eaux souterraines salines, Tajamares

Chaco, Paraguay

Les régions disposant d'eaux souterraines salines sont parmi les plus difficiles à gérer en termes d'approvisionnement en eau potable. Les ressources en eau, mais également les options de stockage de l'eau, restent limitées, en particulier dans les régions arides et semi-arides, où le stockage des eaux de surface dans les étangs ouverts entraîne des pertes par évaporation élevées. La gestion avisée de lentilles d'eau douce souterraine fournit alors une alternative innovante pour de telles régions.

Les technologies

La mise en réserve des eaux pluviales pendant la saison des pluies est cruciale pour assurer l'approvisionnement en eau pour les usages domestiques. À cet effet, des « tajamares » ont été créés, dans la région du Chaco, au Paraguay, pour assurer un stockage des eaux de surface et une recharge

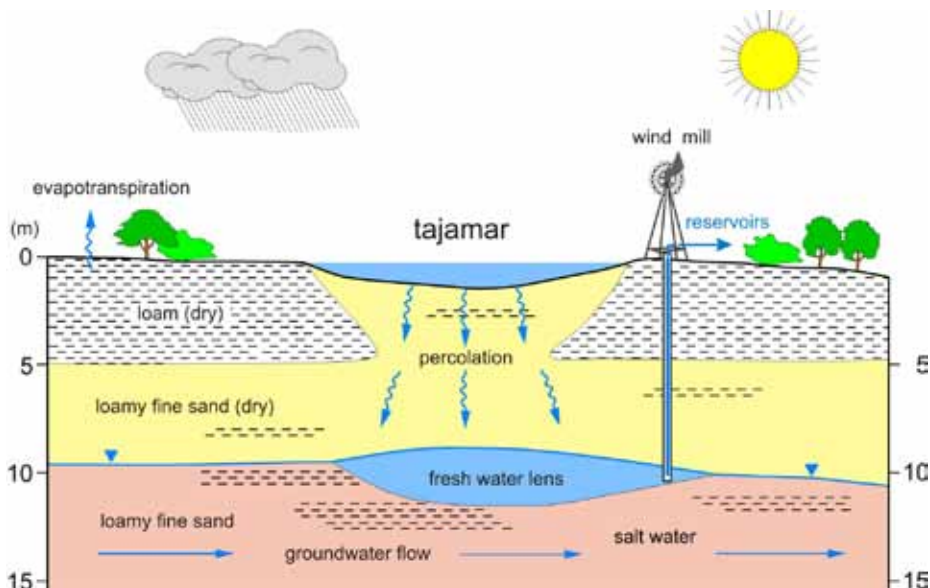


Figure 30. Des précipitations sont nécessaires pour qu'un tajamar se remplisse, puis l'infiltration des eaux de pluies engendre la formation d'une lentille d'eau douce. Une éolienne permet de pomper mécaniquement les eaux souterraines vers la surface.

artificielle des eaux souterraines. Les tajamares sont généralement des dépressions naturelles, mais peuvent également être construits artificiellement. Ils recueillent les eaux de ruissellement sur une grande surface et les stockent dans un réservoir de surface, ou nourrissent les lentilles d'eau douce locales. La particularité de ces lentilles d'eau douce est qu'elles flottent au-dessus de l'aquifère salin. Elles apparaissent lorsque les conditions suivantes sont remplies (figure 30):

- Une dépression alimentée par un vaste bassin hydrographique ;
- L'apparition d'événements pluvieux de forte intensité (plus de 35 mm), favorisant l'accumulation de l'eau dans les dépressions ou les tajamares ;
- Un sol sablonneux dans la dépression ou le tajarar, facilitant la percolation de l'eau ;
- Une zone non saturée formée de sable et hautement perméable, favorisant l'apparition d'une zone tampon d'une capacité de stockage suffisante ;
- Une nappe phréatique présente à moins de 4 mètres de profondeur, évitant ainsi l'évaporation ;
- Un écoulement des eaux souterraines de vitesse relativement faible - de sorte que la lentille d'eau douce ne soit pas perturbée et ne se mélange pas avec l'eau souterraine saline environnante.

Où cela est-il appliqué ?

Le Chaco - avec une superficie de 240 000 km² – couvre les deux tiers du Paraguay. La région est peu peuplée et essentiellement inexploitée. Une grande partie des eaux souterraines est saline, et il n'existe aucune rivière ou lac pérenne. Les ressources en eau potable pour la population locale sont par conséquent limitées.

La géologie du Chaco est caractérisée par la présence de dépôts de sable, de limon et d'argile provenant des Andes. Par conséquent, les aquifères alternent des couches d'argile imperméables. L'écoulement des eaux souterraines reste faible, avec une vitesse comprise entre 0,6 et 1,8 m / an (Junker, 1996). Dans la partie centrale du Chaco, le niveau de la nappe phréatique superficielle se trouve à une profondeur de 3 à 15 m. Les eaux souterraines dans la région oscillent entre des eaux saumâtre et des eaux extrêmement salées (Echeverria, 1989 ; Godoy, 1990). La moyenne annuelle des précipitations est comprise entre 800 mm et 900 mm, atteignant jusqu'à 1600 mm dans les années de pointe. La majeure partie des pluies tombe entre novembre et mars, période durant laquelle l'évaporation est également à son maximum.

Tableau 11. Coûts du tajarar Ganadero, ayant une capacité de 30 000 m³

Zone de recharge du tajarar	500 ha
Capacité de stockage de l'eau	30,000 m ³
Coûts de construction	24,000 euro
Durée de vie	15 ans
Taux d'intérêt	5%
Recouvrement annuel de capital	2312 euro/an
Maintenance et distribution	180 euro/an
Prix de l'eau	0.08 euro/m ³

Tableau 12. Les bénéfices du tajamar Ganadero

Prix du marché de l'eau au Chaco	1,78 euro/m ³
Coûts de l'eau provenant du tajamar	0,08 euro/m ³
Bénéfices	1,70 euro/m ³

Coûts et bénéfices

Les coûts globaux relatifs à un tajamar étaient d'environ 24 300 dollars US - desservant alors une communauté de 400 personnes (60 maisons). Ces coûts impliquent la structure de recharge et le réseau de distribution, mais également une éolienne, cinq citernes, une pompe manuelle et la conduite d'eau.

Les systèmes de tajamar permettent de fournir une source d'eau dans des conditions relativement difficiles. Ils représentent également un outil d'adaptation au changement climatique, puisqu'ils tirent bénéfices des pluies de forte intensité. Un tajamar ayant un volume de 30 000 m³ peut fournir de l'eau potable jusqu'à 1200 personnes. Le prix de l'eau est calculé en fonction du coût des matériaux. Avec un taux d'intérêt de 5% et une durée de vie de 15 ans, le prix de l'eau se chiffre à 0,08 euro par m³ (soit 0,1 dollar US par m³). La main-d'œuvre nécessaire pour la construction et la maintenance n'est pas incluse dans le calcul, mais peut être apportée par les communautés elles-mêmes. En plus de fournir de l'eau potable, les tajaras soutiennent également l'élevage dans le

Chaco. En fonction de l'intensité de l'irrigation des pâturages, le taux de production est compris entre 1 à 1,5 bovins par hectare. Selon la Asociación Rural de Paraguay (ARP - Asociación rural de Paraguay), le supplément d'eau disponible (en dehors de ce qui est nécessaire pour l'irrigation) a contribué à une augmentation de 36,1% de l'élevage au Paraguay, entre 2005 et 2010. Cette croissance économique a eu un effet important sur le marché du travail, directement associé aux activités agricoles, mais aussi sur les processus de production secondaire dans le Chaco.

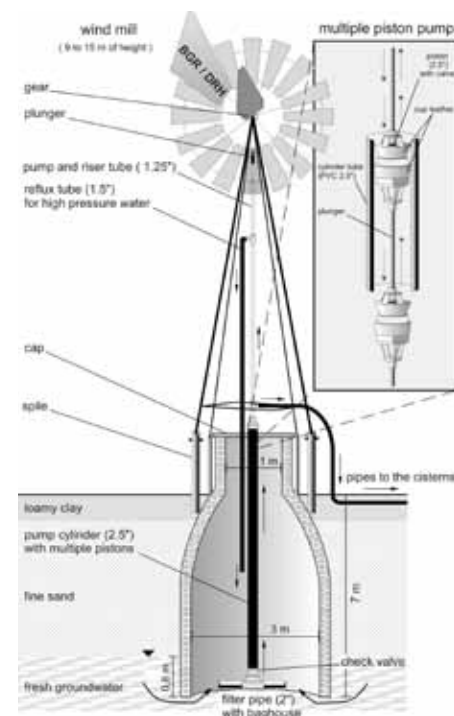


Figure 31. Aperçu schématique de l'éolienne.

Mécanismes de financement

Les communautés ont dû commencer par décrire leurs problèmes liés à l'eau et définir clairement leur contribution au projet. La participation des communautés relevait principalement des travaux de construction et du transport de matériel, alors que le projet fournissait le matériel de construction, les outils, et l'expertise-conseil.

Mise en œuvre

L'expertise-conseil a été fournie aux communautés une fois que leur intérêt dans l'amélioration de leur approvisionnement en eau potable a été prouvé. Chaque communauté a alors construit les tajamares là où les conditions hydrogéologiques locales étaient adaptées pour ce type d'installation. Des comités de l'eau ont été créés pour la planification, la construction et la maintenance des tajamares. Les communautés locales ont reçu un soutien, mais ont toutefois planifié et construit elles-mêmes les tajamares, assurant ainsi l'appropriation de ce projet, mais également le transfert de savoir-faire technique. Cette approche est indispensable pour garantir que les systèmes d'approvisionnement en eau soient exploités et correctement entretenus à l'avenir. Des matériaux de construction localement disponibles et une technique simple et testée ont été utilisés pour faciliter la maintenance par les communautés, favorisant également un soutien supplémentaire à l'économie locale. Pour éviter la contamination par les animaux, le tajarar a donc été clôturé. L'objectif du projet visait ainsi à atteindre un approvisionnement en eau potable durable toute l'année.

Réussites et défis

Depuis le début du projet dans les années 1990, plus de 75 villages, mais également des écoles et des institutions publiques, dans l'ouest et le centre du Chaco, se sont montrés intéressés pour se joindre au projet. Ils ont en effet reconnu les avantages de participer à la construction de tajamares. Quatre ans après le début du projet, la moitié des villages de la région semblait assurer la responsabilité de leurs tajamares. Il est clair que la réussite de ce projet est directement liée à la structure organisationnelle du comité de l'eau et à l'appropriation du projet par les populations.

La construction de tajamares s'est élargie au cours des dernières années, générant ainsi des bénéfices économiques à grande échelle. L'élevage intensif créant une forte incitation à remplacer les forêts naturelles par des pâturages, le défi consistait alors à intégrer cette technologie traditionnelle dans un processus de gestion d'une utilisation durable des terres.

References

Echeverria, S. et al. (1989) : Calidad química de las aguas subterráneas del Chaco Paraguayo para consumo humano, agrícola y ganadero (La qualité chimique des eaux souterraines paraguayenne du Chaco pour la consommation humaine, du bétail et agricole). – Rec. Nat. Geol. Hídrol., Agua Subt. Chaco Parag.; Publ. Dpto. Abast. Agua para el Chaco : p. 57-69, 4 fig., 2 tab. ; DRH, Filadelfia, Paraguay.

Godoy, E.V. (1990) : Características hidrogeológicas e hidroquímicas de la region oeste del Chaco Paraguayo (Caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la région ouest du Chaco paraguayen). – Dpto. Abst. Agua para el Chaco : 107 pp., 27 fig., 7 tab. ; Filadelfia, Paraguay (DRH).

Junker, M. (1996) : Determinación de las características hidrogeológicas y evaluación de la recarga de agua subterránea y el aprovechamiento de las precipitaciones (Détermination des caractéristiques hydrogéologiques et évaluation de la recharge des eaux souterraines et de l'utilisation de précipitations). – Info. Téc. No. 13, Coop. Hidrol. Parag.-Ale. : 57pp., 33 fig., 3 tab.; Filadelfia, Paraguay (BGR/DRH).

5.7 Conservation d'eau douce avec drainage contrôlé

Pays-Bas

Le précédent ouvrage des 3R relatif à « La gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique » a présenté le cas du drainage contrôlé aux Pays-Bas. L'étude de cas est ici plus longuement analysée, grâce aux informations de la fiche descriptive « Peilgestuurde drainage » (drainage contrôlé), réalisée par STOWA et le rapport « Zoetwater Verhelderd ; Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld » (Clarification de l'eau douce ; Présentation de mesures pour l'auto-alimentation en eau douce), par L. Tolck, du projet de recherche de connaissances pour le climat.



Figure 32. a) Drainage contrôlé installé dans les champs aux Pays-Bas, où les drains sont reliés à un drain collecteur; b) et à un tuyau vertical agissant comme unité de commande du niveau de l'eau. (Photo: Acacia Water).

Les technologies

On retrouve principalement le drainage sur des périmètres agricoles. Traditionnellement, son but est d'évacuer l'eau de pluie pour diminuer le niveau des eaux souterraines, et ainsi éviter les dommages sur les cultures liés à l'humidité. Toutefois, l'élimination rapide de l'eau de pluie diminue la capacité de rétention en eau du sol, pour les périodes de sécheresse. Un drainage contrôlé peut également influencer et modifier le niveau d'eau de la nappe, au cours d'une année. Il offre en effet la possibilité de rehausser le niveau des eaux souterraines, afin que l'eau puisse être stockée

dans la nappe, mais également de le diminuer pour empêcher les dommages liés à l'humidité. Le drainage contrôlé est basé sur une technique relativement simple, pouvant être appliqué à des drains existants, ou introduit lors de l'installation de nouveaux drains. La fonction principale de cette technique est que les drains, déversant normalement leurs eaux dans les fossés, sont désormais connectés à un tube. Le niveau d'eau dans ce tube et par conséquent, le niveau des eaux souterraines, peuvent alors être modifiés. Pour ce faire, l'extrémité du tube, d'où l'eau sort, est reliée à un tuyau vertical. La tête de ce dernier peut être modifiée, entraînant une modification du niveau auquel l'eau coule. Si le trop-plein du tuyau vertical est à un niveau élevé, une grosse quantité d'eau peut donc être stockée dans le sol. Lorsque le niveau diminue, l'eau stockée dans le sol s'écoulera, jusqu'à ce que le niveau des eaux souterraines soit en équilibre avec la tête du tuyau vertical.

Il est possible de recueillir l'eau libérée par les drains lorsque la tête de la sortie est abaissée. Un projet pilote visant à tester cette technologie va être lancé sous peu à Texel, aux Pays-Bas. En principe, la qualité de l'eau est bonne même si l'eau souterraine profonde est salée, puisque la couche supérieure de l'eau qui est extraite du sol de cette manière est constituée d'eau douce, flottant au-dessus de l'eau salée présente dans la nappe. La qualité de l'eau dépend toutefois des pratiques agricoles développées dans le champ, à partir duquel elle est évacuée, si par exemple, des pesticides et des engrais y sont utilisés.

Dans les environnements d'eaux souterraines salines, la pratique de drainage contrôlé possède un autre avantage. Dans ce domaine, la soi-disant lentille d'eau douce devient sensiblement plus grande si le niveau hivernal des eaux souterraines augmente. Normalement douces, les eaux de pluie flottent sur l'eau salée. Dans les zones constatant une infiltration d'eau saline, elles offrent alors un tampon contre la salinisation de la zone racinaire. Le drainage traditionnel décharge l'eau douce et réduit alors ce tampon. En outre, un niveau inférieur des eaux souterraines augmente le débit des eaux d'infiltration, amplifiant ainsi la salinisation. Ces deux effets négatifs du drainage traditionnel peuvent alors être minimisés grâce au drainage contrôlé. Si le niveau des eaux souterraines est augmenté en hiver, la lentille d'eau douce s'épaissira, stimulant ainsi l'effet tampon contre la salinisation.

Au début de la saison de production, ou lorsque le matériel agricole lourd doit travailler le terrain, le

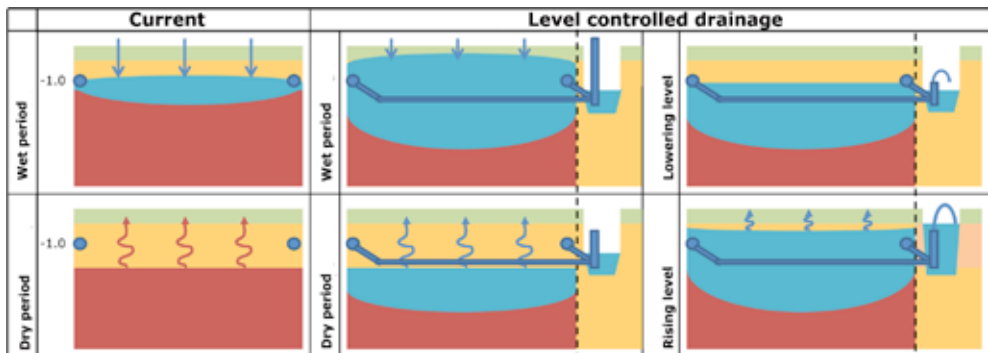


Figure 33. Contrôle du niveau d'eau dans le sol et augmentation de la quantité d'eau douce stockée dans le sol avec l'utilisation du drainage, grâce auquel le niveau d'eau peut être contrôlé de manière dynamique. Le bleu correspond à l'eau douce et le rouge à l'eau salée. Le volet de gauche montre le drainage traditionnel, et les volets du milieu et de droite montrent la quantité accrue d'eau douce avec le drainage contrôlé, pendant la saison humide (volet supérieur) et pendant la saison sèche (volet inférieur).

niveau de la nappe phréatique peut être rapidement abaissé à la profondeur désirée. Les dommages sur les cultures liés à l'humidité sont ainsi évités. Si suffisamment d'eau est disponible, le niveau dans le champ peut être rehaussé lorsqu'une pénurie se produit pendant la période sèche. Ceci est possible en augmentant le niveau de l'eau dans les drains, fonctionnant alors - selon les conditions du sol - comme des canaux d'irrigation souterrains. Par ce contrôle dynamique du niveau des eaux souterraines au moyen du drainage contrôlé, il est possible de stocker davantage d'eau dans le sol, sans le risque d'endommagement causé par l'humidité.

Où cela est-il appliqué ?

Le drainage contrôlé a été appliqué dans plusieurs projets pilotes aux Pays-Bas. Son efficacité dépend, entre autres, des conditions du sol. La résistance des sols sableux étant limitée, le drainage contrôlé de ces sols se révèle alors être efficace. Dans les sols argileux, l'effet peut être moins prononcé. Les projets pilotes de drainage contrôlé actuellement en cours testent donc ces sols.

Le drainage contrôlé augmente la quantité d'eau pouvant être maintenue dans une région, seulement s'il est utilisé comme un substitut du drainage traditionnel. Il est uniquement applicable aux zones drainées, ou ayant besoin d'être drainées pour éviter les dommages liés à l'humidité.

Il peut être appliqué pour réduire les pics de crue, en particulier lorsque la saison de production ne coïncide pas avec la saison des pluies. Dans les zones drainées, où les pics de crue doivent être réduits à un moment donné, le niveau des eaux souterraines peut ainsi être rehaussé. Le drainage contrôlé peut alors être utilisé dans de tels cas, comme un moyen d'améliorer l'effet tampon du sol.

Dans les zones où il y a une infiltration d'eau saline, tels que les deltas de faible élévation à travers le monde, la lentille d'eau douce peut être améliorée grâce au drainage contrôlé. En outre, la technique permet de récolter l'eau douce du sol dans un environnement par ailleurs d'eau salée. Le long des régions côtières, où les eaux souterraines peu profondes sont salines, le drainage contrôlé peut ainsi réduire le risque de salinisation des cultures.

Coûts et bénéfices

Les coûts relatifs à la construction d'un système de drainage contrôlé sont d'environ 4 000 euros par hectare, si de nouveaux drains sont également installés, à une distance optimisée pour le drainage contrôlé. Les coûts peuvent être diminués, si le système est appliqué sur les drains existants, d'environ

Tableau 13. Coûts de construction du drainage contrôlé (Tolk, 2012)

	Durée de vie (an)		Construction (euro/an)				Total (euro/ha/an)	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Tubes de drainage	10	20	0	1600	0	160		
Drain collecteur et tuyau vertical	15	20	600	2400	30	160		
Total (moyenne)							30	320

600 à 2 400 euros par hectare (tableau 13). L'exploitation d'un système de drainage contrôlé est un peu moins élevée que celle du drainage traditionnel, puisqu'il a été constaté que le rinçage des conduites pour les nettoyer peut être fait plus facilement lorsque les drains sont connectés. Si le système est utilisé pour l'infiltration, ou si l'eau provenant des drains doit être sauvegardée, des dépenses supplémentaires doivent être effectuées pour stocker l'eau (dans un bassin, par exemple). Cette partie serait la plus coûteuse, et le coût du bassin dépasserait le coût du système de drainage contrôlé actuel.

L'amélioration de la capacité de rétention en eau représente un des bénéfices relevant du système, diminuant ainsi le débit de pointe, les exigences d'irrigation en raison du niveau des eaux souterraines ayant augmenté, et le tampon contre la salinisation. La demande d'eau externe est ainsi réduite et le rendement des cultures augmente. La quantification de ces derniers bénéfices est toujours en cours d'investigation. Le changement climatique aggrave les phénomènes de salinisation dans les régions côtières, assurant alors le drainage contrôlé comme une solution durable.

Mécanismes de financement

À l'heure actuelle, les systèmes de drainage les plus contrôlés dans les Pays-Bas sont des systèmes pilotes ayant été financés par des instituts de recherche. Cependant, une fois l'évidence de leurs bénéfices mise en avant, les agriculteurs devront assumer la responsabilité de l'investissement. Si les considérations d'ordre prudentiel sont avantageuses, les agriculteurs néerlandais peuvent décider d'investir dans le drainage contrôlé afin de surmonter la sécheresse ou la salinisation. Lorsque le drainage contrôlé s'avère nécessaire pour contrôler l'écoulement de pointe, l'agence de l'eau peut fournir une subvention aux agriculteurs afin d'installer un drainage contrôlé. Une agence de l'eau néerlandaise a déjà fait l'application du drainage contrôlé pour le contrôle de la quantité d'eau obligatoire.

Mise en œuvre

Le drainage contrôlé devient fonctionnel immédiatement après la construction. Après l'installation du drain collecteur et du tuyau vertical, le système peut être utilisé pour augmenter le niveau de l'eau au cours de la période humide, et l'abaisser pendant la saison de production, ou si les machines agricoles lourdes doivent entrer dans le champ. Si le système est également utilisé pour infiltrer l'eau dans un environnement salinisé, il sera alors nécessaire de construire un bassin ou un autre stockage pour l'eau d'infiltration. Cette option reste toutefois plus coûteuse et représente une perte de terres agricoles pour l'emplacement du bassin. Par conséquent, la construction du bassin représentera la partie la plus difficile à mettre en œuvre, si le système est également utilisé pour y recueillir l'eau. La technique de drainage contrôlé elle-même est relativement facile à mettre en œuvre.

Réussites et défis

Dans certaines régions des Pays-Bas, les agences de l'eau ont adapté le drainage contrôlé afin de réduire les débits de pointe. Les projets pilotes ont montré des résultats prometteurs, en termes

d'augmentation de la quantité d'eau douce dans le sol. Le défi consiste maintenant à rendre la technologie commercialisable. Il devient alors nécessaire d'articuler clairement les bénéfices, mais également de développer davantage de projets pilotes commerciaux. La communication des succès obtenus, étant déjà visibles, devrait aider à convaincre les agriculteurs sur la solution économique apportée par le drainage contrôlé face à la salinisation. Les agences de l'eau présentes dans les autres régions des Pays-Bas peuvent suivre celles qui utilisent déjà le drainage contrôlé face aux inondations. Faciliter le transfert de la responsabilité des agences de l'eau aux agriculteurs et promouvoir des mesures décentralisées et à petite échelle, restent donc un défi majeur à relever.

Références

STOWA, 2012. Deltafact Samengestelde peilgestuurde drainage (Drainage contrôlé composite Deltafact). http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Samengestelde_peilgestuurde_drainage.aspx?pld=1

Tolk, L.F., 2012. Zoetwater Verhelderd; Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld (Clarification de l'eau douce ; Présentation de mesures pour l'auto-alimentation en eau douce) Rapport Kennis voor Klimaat (Connaissances sur le climat).

5.8 Recharge et fertilité des sols grâce au colmatage des ravines et l'utilisation de diguettes

Terai, Inde

La région de Terai, située au nord du Bengale, en Inde, est caractérisée par de fortes précipitations - surtout pendant la période de la mousson, entre mai et septembre. Bien que les précipitations atteignent 2200 à 3000 mm par an, un programme de « gestion de zones humides du bassin hydrographique » a abouti à des dividendes élevés. Le développement de diguettes et de digues a permis d'assurer un meilleur contrôle et une plus grande rétention des eaux de surface. En outre, le colmatage des ravines a permis de sécuriser les niveaux d'eau souterraine - améliorant la fiabilité de la culture du riz, qui est par essence une culture pluviale.

Les technologies

Plusieurs techniques ont été utilisées pour assurer une meilleure rétention de l'eau et stabiliser les niveaux d'eaux souterraines dans



Figure 34. Construction d'un colmatage de ravine pour conserver les eaux souterraines (Photo : Richard Soppe).

la région du Terai, au nord du Bengale. Les principales techniques utilisées sont : **Le colmatage des ravines**, construit dans les drains naturels présents dans les régions. Ces colmatages répondaient à plusieurs objectifs. Ils : (a) ralentissaient la vitesse des eaux de ruissellement, et (b) augmentaient l'infiltration des eaux de pluie, reconstituant ainsi le lit de la ravine en sédiments capturés

par les eaux souterraines. Cette technique a également contribué à l'augmentation du niveau de la nappe phréatique, les ravines étant les drains les plus bas dans la région.

Les diguettes en gradin et diguettes d'arrêt, permettant de retenir les écoulements en nappes. Les diguettes en gradin sont placées de sorte à former un angle faible avec les courbes de niveau. Leur hauteur dépend de la pente du sol et de la zone devant être inondée. Cette zone de retenue ne doit pas excéder 15 cm de profondeur. Les diguettes sont construites en série, et servent à étaler l'eau ou à retarder les écoulements en nappes. Elles empêchent également la formation de ravines, la baisse du niveau de la nappe souterraine et l'assèchement des couches supérieures.

Les diguettes de champ, évitant que l'eau ne jaillisse d'un champ à l'autre. Elles permettent au contraire qu'un bassin se remplisse, avant de se déverser correctement vers le bassin suivant. Comme d'autres ouvrages en terre, ils sont réalisés de préférence au milieu de la saison sèche, afin qu'ils puissent se consolider sous l'effet des déplacements humains et du passage des animaux, et qu'ils soient suffisamment résistants avant le début de la nouvelle mousson.

Les diguettes de protection, construites le long des rivières et des ravines, ont deux fonctions: prévenir les crues incontrôlées des cours d'eau, et éviter que d'importants volumes d'eau ne s'accumulent trop rapidement dans les rivières et les ravines.

Où cela est-il appliqué?

Le Terai est une vaste zone bordant la région de l'Himalaya - s'étirant du Népal à l'État d'Assam, en Inde. Les techniques de « gestion de zones humides du bassin hydrographique » utilisées dans la région de Terai, au nord du Bengale, pourraient également être appliquées sur une zone beaucoup plus vaste. Elles seraient également utiles dans d'autres régions très pluvieuses, en plaines - tels que dans certaines régions d'Asie du Sud-Est.

Le Terai lui-même a été une zone de frontière agricole au cours des dernières décennies. Autrefois constituée de prairies fluviales, de savanes, et de forêts sempervirentes et décidues, la région a été convertie en terres agricoles hautement productives, soutenues par des niveaux d'eau souterraine élevés et fiables. La pénurie d'eau saisonnière représente donc un défi. Tout d'abord, la majeure partie des 2 800 mm de précipitations annuelles a lieu pendant la période de la mousson, entre juin et octobre. Deuxièmement, le changement climatique rend le début de la mousson et des pluies de mousson très erratique (GWB, 2011). Dans l'ensemble, les pluies de mousson ont diminué de 3,1%, et les précipitations annuelles ont diminué de 8,8%, au cours de la dernière décennie, dans la région du Terai (GWB, 2011). Troisièmement, les sols de structure grossière ont une faible capacité de rétention en eau, ce qui limite l'alimentation en eau pendant les périodes sèches. Afin de maintenir l'écosystème rare des prairies, et de sécuriser la disponibilité en eau pour les cultures pluviales, un large éventail d'interventions a été entrepris pour recharger et retenir les eaux souterraines, viabiliser l'humidité du sol et fournir une irrigation d'appoint.

Coûts et bénéfices

Les coûts moyens relatifs à l'investissement pour la conception, la planification et la construction des techniques de conservation de l'eau du sol (CES), dans le Terai, étaient d'environ 90 dollars US / ha.

Une évaluation de la rentabilité économique de ces mesures a été réalisée sur six sites, par Despande et Dey (1999). Selon les résultats, l'utilisation du colmatage des ravines et des différentes diguettes, dans le cadre du programme de gestion de zones humides du bassin hydrographique a

entraîné :

- Une augmentation de l'intensification des cultures de 90% à 201% ;
- Une stabilisation du niveau de la nappe tout au long de la saison de la mousson, réduisant l'impact de la sécheresse au cours de la saison sèche. Il s'agissait d'une préoccupation importante. Suite au programme de gestion de zones humides du bassin hydrographique, les niveaux hauts et stabilisés des eaux souterraines (et de l'humidité du sol soutenue) ont permis de surmonter l'impact de ces courtes périodes de sécheresse, sans quoi les rendements de riz auraient considérablement diminué ;
- L'augmentation de la fertilité des sols a favorisé une teneur plus élevée en matière organique dans le sol. L'humidité du sol peut ainsi rester à un niveau nécessaire à la croissance des cultures, pour 9 jours supplémentaires pendant la période sèche.

Ces bénéfices se traduisent en une augmentation de la valeur de la production brute de 370 dollars US à plus de 3500 dollars US / ha. Des sols de meilleure qualité et l'amélioration de l'accès à l'eau conduisent également à une augmentation de la valeur des terres, de 646 à 1772 dollars US / ha. Les bénéfices dépassent donc de loin les coûts moyens d'investissement, se chiffrant à 90 dollars US / ha.

Des résultats similaires peuvent être observés dans d'autres programmes développés dans cette région. Le programme HADP (Hill Area Development Program), par exemple, aide les collectivités dans une utilisation intelligente et durable des ressources. Il est actif dans les régions montagneuses de l'Assam et dans les états du Bengale-Occidental, et a été initié par le gouvernement indien lors de son 5e plan quinquennal. Bien que l'approche par bassin hydrographique ait été utilisée, le programme était encore à « des niveaux préliminaires au stade de la mise en œuvre » (PEO, 2010). Néanmoins, un tiers des bénéficiaires a récolté les bénéfices des activités de développement liées à l'eau et aux sols. En moyenne, chaque bénéficiaire a agrandi ses terres de 0,3 hectare ; incluant jusqu'à quatre nouvelles cultures dans ses systèmes culturaux ; et pouvant augmenter ses rendements de 75% en moyenne. Les bénéficiaires du projet ont ainsi été en mesure d'augmenter leurs revenus de manière significative. On estime que ces augmentations ont accru les bénéfices jusqu'à 250 dollars US par an. (PEO, 2010).

Mécanismes de financement

Une des grandes forces des programmes de gestion de zones humides du bassin hydrographique est que l'investissement matériel nécessaire est très limité, et qu'il relève principalement de la main-d'œuvre. Presque la totalité du budget est dépensé dans la main-d'œuvre et le programme mis en œuvre dans la période de soudure. L'avantage de cette approche est qu'elle profite ainsi essentiellement à l'économie locale. Si les structures sont endommagées dans le futur, il est de la responsabilité du comité de maintenance d'obtenir des fonds supplémentaires du panchayat / pradhan local³¹ (Mahapatra, N. 2002). Le comité est également responsable du maintien de ses propres ressources financières (PEO, 2010).

31 Chefs du Conseil du village, un organisme administratif élu au niveau local, en Inde.

Tableau 14. Les impacts et les stratégies du changement climatique dans la région du Terai, dans le Bengale-Occidental (Source: Tableau 6.2 et 6.6 dans *GWB, 2010; pp. 60; 69-70; 80*)

Changement de climat	Stratégie proposée
<ul style="list-style-type: none"> Les longues périodes hivernales sont propices à la production de blé dans cette région, mais l'augmentation des températures en hiver réduit les rendements de blé. La longue durée de l'hiver est un avantage pouvant être exploité. 	<ul style="list-style-type: none"> Cultivars indigènes prometteurs: Introduire des variétés de blé de courte durée
<ul style="list-style-type: none"> Dégradation des semences de qualité. Les températures ont augmenté de 1,5 Co et continuent d'augmenter. 	<ul style="list-style-type: none"> Cultivars indigènes prometteurs Plantations pour ombrager le sommet des arbres fruitiers et construction de serres pour les légumes, où les températures sont élevées.
<ul style="list-style-type: none"> Perte de nutriments par le renforcement du lessivage. La région du Terai observe un déficit en hydroxyde de calcium, zinc et en bore, en raison du lessivage. 	<ul style="list-style-type: none"> Entreprendre une gestion efficace des nutriments du sol, par exemple, les engrais vert enrichissent les sols en 200 jours. Introduire le "zéro labour" dans l'ensemble des zones agro-climatiques.

Mise en œuvre

La mise en œuvre du projet dans le nord du Bengale a relevé de la responsabilité de la direction de la conservation des sols du ministère de l'Agriculture. La mise en œuvre a été réalisée par des « comités de bénéficiaires » formés par les agriculteurs locaux. Après l'achèvement du projet, son état et ses performances ont été évalués par les comités de maintenance.

Réussites et défis

- Institutionnel : Les résidents locaux ont été intensivement impliqués dans la conception, la mise en œuvre et l'entretien des structures. Ce facteur a été un élément fondamental de la réussite du projet.
- Les mesures prises de manière significative ont amélioré les rendements et les revenus d'une population majoritairement pauvre. Les investissements ont été amortis dans l'année.
- La mise en œuvre des activités a généré des opportunités d'emploi supplémentaires.

La moyenne de terre par habitant dans l'État représente généralement moins du tiers d'un hectare (un bigha). Malgré cela, l'intensité culturelle dans le Bengale-Occidental reste l'une des plus élevée parmi tous les États de l'Inde. Elle est passée de 131% à 185% au cours des 25 dernières années, mettant une pression énorme sur les ressources en eau et sur les sols. L'exploitation de la recharge, mais également la rétention, revêtent donc une importance capitale.

Deuxièmement, il est nécessaire d'aborder l'impact du changement climatique dans la région (voir le tableau 14). La région fait ainsi face à un certain nombre de défis, l'encourageant alors à développer sa propre gestion de l'eau.

Références

Despande, R.S. et B.K. Dey. (1999). In response to nature's challenges: an assessment of the soil conservation projects of NBTDP (En réponse aux défis de la nature une évaluation des projets de conservation des sols de NBTDP). Jalpaiguri : North Bengal Terai Development Project (Jalpaiguri : un projet de développement dans la région de Terai, au nord du Bengale)

Gouvernement du Bengale-Occidental, gouvernement de l'Inde (2011). West Bengal State action Plan on Climate Change (Plan d'action de l'État du Bengale-Occidental sur les changements climatiques)

Kundu, N et G. Soppe. (2002). Water resources assessment: Terai region of West Bengal (Évaluation des ressources en eau : la région du Terai, Bengale-Occidental). New Delhi : Jawahar Publishers.

Mahapatra, N. (2002). Wet Watershed Management Guide. Water Harvesting and Soil Conservation in High Rainfall Areas (Guide de gestion de zones humides du bassin hydrographique. Récupération de l'eau et conservation des sols dans les régions de fortes précipitations). Jalpaiguri : North Bengal Terai Development Project (Jalpaiguri : un projet de développement dans la région de Terai, au nord du Bengale)

Programme Evaluation Organisation (Programme Évaluation Organisation), Gouvernement de l'Inde (2010). Report of the evaluation study on hill area development programme (HADP) in Assam and West Bengal (Rapport de l'étude d'évaluation sur le programme HADP (Hill Area Development Program) dans l'Assam et le Bengale-Occidental). New Delhi, juillet 2010.

Swami, V.A. et al. (2012). Participatory Watershed Management in South Asia: A comparative evaluation with special references to India (Gestion participative des bassins hydrographiques en Asie du Sud : Une évaluation comparative avec des références particulières à l'Inde). International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, numéro 3.

5.9 Écologisation des paysages semi-arides - Barrages déversant

Région du Sahel

L'approche de la construction de barrages déversant dans la région du Sahel est décrite dans un projet par le KfW et la GIZ, qui a été mis en œuvre pour le compte du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ). Une sélection de leur rapport est présentée dans cette section : « Water-spreading weirs for development of degraded dry river valleys. Experience from the Sahel » (Des barrages déversant pour le développement des vallées fluviales sèches dégradées. L'expérience du Sahel), par D. Nill, K. Ackermann, E. van den Akker, A. Schöning, M. Wegner, C. van der Schaaf, J. Pieterse (2012).



Figure 35. a) De l'eau dans un barrage déversant; b) Un barrage déversant à Kalfou (région de Tahoua, au Niger) (Photos: GIZ / Aboubacar Mounkaila).

Les technologies

La couverture végétale éparse et les sols structurellement endommagés réduisent l'infiltration des précipitations dans le sol, entraînant alors plus de ruissellement et d'avantage d'érosion des sols sur les plateaux et les coteaux. Le ruissellement est concentré dans les vallées, où les fortes crues lessivent les sols fertiles et conduisent à une érosion profonde du lit de la rivière. Les crues récurrentes, de petite et moyenne taille, ainsi que les inondations annuelles, provoquant habituellement des inondations temporaires des vallées et des dépôts de sédiments fertiles, ne se produisent plus aujourd'hui. Ces dynamiques peuvent alors être inversées, grâce à des barrages déversant et des mesures de stabilisation dans le bassin de drainage.

Les barrages déversant sont des structures couvrant toute la largeur de la vallée. Ils sont constitués de déversoirs, dans le lit actuel de la rivière, de culées de déversoir et d'ailes latérales (figure 36). Les eaux de crue sont étalées sur la superficie des terres adjacentes au-dessus de la structure, où elles finissent par déborder sur les ailes latérales, puis coulent lentement vers le lit de la rivière, en dessous de la structure. L'étalement latéral de l'eau inonde les terres en amont et en aval de la

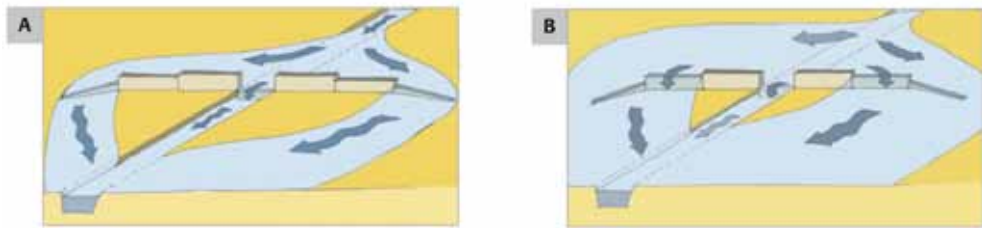


Figure 36. Barrages déversant schématisé a) avec des eaux de ruissellement modérées, un déversoir dans le lit actuel de la rivière et les murs des ailes inférieures situés sur les côtés extérieurs du trop-plein du barrage; b) comme le ruissellement augmente, les ailes supérieures débordent. Source: Nill et al (2012); Bender (2011).

structure, et leurs fournit également des sédiments. L'eau s'infiltré, les ravines dans la vallée sont remplies et le lit de la rivière est relevé. L'infiltration permet également de rehausser le niveau de la nappe au fil des années. Dans 15 vallées réhabilitées au Niger, la profondeur moyenne de la nappe phréatique sous la surface est passée de 12,5 m à 3,5 m.

Les barrages déversant sont généralement construits en série, afin de réhabiliter le plus possible de terres dans la vallée ; les structures en série sont également moins susceptibles d'être endommagées. De plus, de petits murs de pierre sont construits entre les barrages et sous le dernier barrage, et de profondes ravines entre les barrages sont stabilisées avec des barrages filtrants, afin de réduire le ruissellement et l'envasement dans la vallée.

Où cela est-il appliqué ?

Les barrages déversant ont été appliqués dans les régions semi-arides en Afrique de l'Ouest. Au cours des 12 dernières années, les barrages déversant ont été introduits et améliorés comme une nouvelle technique de réhabilitation des vallées sèches dégradées au Burkina Faso, au Niger et au Tchad.

Les barrages déversant sont particulièrement bien adaptés pour la réhabilitation à grande échelle de grandes vallées sèches et peu profondes, ayant été sérieusement dégradées et dans lesquelles le ravinement sévère empêche l'inondation régulière y prenant place habituellement. Les barrages déversant sont également appropriés pour améliorer la productivité agricole dans les fonds de vallées plus ou moins intacts.

Coûts et bénéfices

Les coûts des barrages déversant varient considérablement, en fonction des paramètres physiographiques, de la structure et du niveau des coûts pour les entreprises. Au Burkina Faso et au Niger, les coûts par barrage varient de 600 à 1500 euros / ha, en fonction de la construction (par exemple, avec ou sans gué) et du cadre physiographique. Les barrages déversant individuels au Burkina Faso coûtent en moyenne 12 millions de francs CFA (~ 18 000 euros) par barrage, et entre 30 et 36 millions de francs CFA (entre 46 000 et 55 000 euros) par barrage, au Tchad. Les coûts annuels moyens relatifs à la maintenance sont estimés à 0,5% des coûts de construction. Neuf barrages, d'un coût total de 253 millions de francs CFA (0,39 million d'euros), ont été construits à Gagna, au Burkina Faso.

Les barrages déversant ont de profondes répercussions écologiques, économiques et sociales positives. Les barrages déversant offrent la possibilité d'augmenter et de diversifier la production

agricole, en rendant disponible davantage de superficie de terres arables, en augmentant les rendements et en favorisant 1 à 2 cycles de cultures supplémentaires par an. Ils apportent une contribution considérable en termes de sécurité alimentaire, mais également des revenus plus élevés pour les bénéficiaires. La hausse des niveaux de l'eau a permis une amélioration de la végétation naturelle des vallées et de la disponibilité du fourrage pour le bétail. L'eau potable et l'abreuvement du bétail sont plus facilement accessibles, diminuant ainsi la charge de travail des femmes. La production plus intensive stimule d'autres activités commerciales et génère des revenus, réduisant alors la pauvreté et stabilisant la population locale.

Avant la réhabilitation, pratiquer une culture pendant la saison sèche s'avérait impossible dans 8 des 15 vallées du Burkina Faso, alors que dans d'autres, la culture irriguée n'était possible que dans une mesure limitée, sur de petits champs à proximité directe la rivière. Depuis la réhabilitation, il est maintenant possible d'organiser au moins un cycle de récolte supplémentaire sur les plus grands champs, pendant la saison sèche, dans 13 des 15 vallées. Les expériences au Niger et au Tchad sont similaires.

La valeur de la production totale en 2010, des cultures pluviales, post-pluviales, irriguées et de la pêche, était estimée à 245 millions de francs CFA (0,37 million d'euros) à Gagna, au Burkina Faso,

Table 15. Changements concernant les terres arables, le rendement et la production dans 11 vallées réhabilitées au Niger (Source: Nill et al (2012); Betifor (2010)).

Element	Situation avant les barrages déversant	Situation après	Différence	Facteur de croissance
Superficie cultivée (ha)	2 847	8 132	5 285	2,9
Rendement (kg/ha)	333	675	342	2,0
Production (t)	948	5 489	4 143	5,8

où neuf barrages d'un montant total de 253 millions de francs CFA (0,39 million d'euros) ont été construits. En supposant que la somme des coûts de production, des salaires et avantages sociaux, et du revenu net, sans les barrages, correspond de la moitié au tiers de la production totale, les investissements seront clairement rentables en quelques années.

En 2010, plus de 200 barrages déversant ont été construits dans la région de Tahoua (Niger). 4731 exploitations agricoles, dans un réseau de vallées au Niger (qui étaient les bénéficiaires directs des mesures de réadaptation), possédaient chacune environ 0,6 ha de terres arables de la vallée avant la réhabilitation. Grâce aux barrages déversant, cette superficie est passée à 2,2 ha. Les cultures de mil et de sorgho ont augmenté en moyenne de 85 à 90% et de 25 à 30%, respectivement. Les données en provenance du Niger, fondées sur le mil comme principale espèce de céréale, indiquent une croissance de la production par un facteur de 5,8 (tableau 15).

Mécanismes de financement

La construction de barrages déversant est financée par le budget attribué au projet, pour lequel les villages intéressés peuvent soumettre une demande. Au Tchad, la communauté accepte d'assumer 10% des coûts, ne dépassant pas 500 000 francs CFA (760 euros). Au Burkina Faso, les villages présentant une demande s'engagent à assumer 3% des coûts.

Les travaux de construction sont réalisés en utilisant des méthodes à haute intensité de main-d'œuvre (HIMO par son acronyme français), effectués par les ouvriers des villages locaux, générant ainsi des opportunités locales de revenus, pendant la phase de construction et de formation des artisans locaux pour la maintenance des structures à l'avenir. Une fois la construction terminée, les villages ou communautés villageoises sont (financièrement) responsables de la maintenance des barrages.

Mise en œuvre

Dans la construction de barrages déversant, la première étape consiste à identifier les vallées particulièrement appropriées dans une région et à informer les villages respectifs, les collectivités et les services techniques, sur les possibilités et les conditions préalables à la réhabilitation. Les collectivités intéressées soumettent ensuite une demande écrite au chargé du projet, qui est examinée par un comité d'approbation. Les conditions socio-économiques, les structures déjà présentes dans la vallée et la volonté de la population locale à coopérer sont évaluées dans l'étude de faisabilité subséquente. Les paramètres de construction de base sont ensuite définis et les coûts prévus sont estimés dans une étude technique préliminaire. L'information délivrée par ces études fournit ainsi la base à l'approbation finale de la construction.

Suite à cette approbation, une étude technique détaillée est effectuée, incluant l'appel d'offres et, finalement, la sélection d'une entreprise de construction. Un des principes de mise en œuvre s'appuie sur la participation active des communautés et des villages, afin que la responsabilité soit transférée dès que possible au niveau local. La communauté représente le client ; elle émet donc l'appel d'offre et accepte le travail final. Un comité de gestion, composé de représentants des villages et des communautés locales, est mis en place dans la vallée choisie. Il agit comme point de contact pour toutes les parties prenantes externes et aide dans l'organisation du travail. Les futures règles d'utilisation sont convenues et documentées sous la direction du comité de gestion. Cela peut être sous la forme d'une convention d'utilisation locale, ou peut avoir lieu dans le cadre d'un processus plus global de planification d'utilisation des terres, pour l'ensemble du système de bassin de drainage.

Réussites et défis

Le cadre du projet a permis la construction de centaines de barrages déversant dans les trois pays. Ils ont fortement augmenté la production agricole, à la fois en augmentant la quantité d'hectares cultivables, mais également la production par hectare, en particulier pendant la saison sèche. Les principaux défis consistent à garantir que le comité de gestion est encore en mesure de fonctionner après la fin du projet et que les structures locales (par exemple, les communautés) sont en mesure de maintenir les barrages déversant, en particulier dans le cas de graves dommages.

Références

Nill, D., Ackermann, K., van den Akker, E., Schöning, A., Wegner, M., van der Schaaf, C., Pieterse, J., 2012. Water-spreading weirs for development of degraded dry river valleys. Experience from the Sahel (Les barrages déversant pour le développement des vallées fluviales sèches dégradées. L'expérience du Sahel). <http://www.giz.de/Themen/en/SID-635B49D7-753AF024/35737.htm>.

5.10 Paillis de plastique (Biodégradable)³²

Chine, Inde et États-Unis

Au cours des vingt dernières années, l'utilisation de paillis de plastique a connu un plein essor, en particulier en Asie. En Chine, par exemple, on peut aisément remarquer des vallées entières qui en sont recouvertes, depuis que le gouvernement subventionne sa fabrication pour stimuler la production de céréales. En 2004, un peu plus de 10 millions d'hectares de terres agricoles chinoises était recouvertes de film plastique (Rabobank, 2006 ; Brown 2004). Aujourd'hui, cette zone a au moins doublé, en particulier dans les provinces sujettes à la sécheresse au nord-ouest et sud-ouest de la Chine, comme le Xinjiang et le Yunnan, où l'utilisation de paillis de plastique est maintenant très courante.

Les technologies

Le paillis de plastique est un film très mince qui est appliqué sur le sol, afin d'éviter la croissance des mauvaises herbes, de réduire l'évaporation, et d'élever la température du sol. L'épaisseur typique du paillis de plastique aux États-Unis est comprise entre 0,6 et 1 mm. Il est vendu en rouleaux de 1 500 m de longueur et de 1,6 m de large (Sarnacke et Wildes, 2008). L'épaisseur et la couleur du paillis sont choisies en fonction de l'agriculteur et de ses préférences de cultures.

Le paillis noir reste le plus communément utilisé dans le monde, démontrant une capacité de contrôle de la croissance des mauvaises herbes. En effet, la lumière du soleil ne passant pas à travers, il inhibe ainsi le processus de photosynthèse des mauvaises herbes. Le paillis transparent est utilisé pour favoriser la croissance des cultures en début de saison, laissant passer la lumière du soleil à travers en réchauffant ainsi le sol, à des niveaux parfois assez élevés. Toutefois, le contrôle de la croissance des mauvaises herbes sous un paillis de plastique transparent reste difficile, et nécessite l'utilisation d'un herbicide avant la pose du paillis. Le plastique transparent est parfois utilisé pour chauffer le sol (de 40 à 60 °C) afin de le stériliser, pour contrôler les maladies véhiculées par le sol et les insectes ravageurs (Katan, 1981). Les paillis de couleur blanche, argentée ou en aluminium sont utilisés pour rediriger la lumière du soleil ayant traversé le feuillage, de nouveau vers les feuilles, favorisant ainsi des rendements plus élevés. Dans les régions connaissant des températures élevées, le paillis blanc peut être utilisé pour faciliter la production des cultures en refroidissant le sol. Les paillis varient également en épaisseur et en porosité ce qui, à son tour, impact sur l'humidité du sol, l'absorption des nutriments, et la longévité du paillis lui-même.

32 Contributed by: C. Miles and T. Marsh. Washington State University; USDA SCRI Project No. 2009-02484.

Tableau 16. Le marché mondial du film de paillis, en milliers de tonnes (tableau en Sarnacke et Wildes, 2008).

Zone	1999	2007
Amérique du Nord	150	160
• États-Unis	90	60
• Mexique	60	100
Amérique latine	90	160
Europe	410	640
• Espagne aucun	-	70
• Italie aucun	-	60
• Allemagne aucun	-	50
• France aucun	-	50
• Autres aucun	-	100
• Europe de l'Est aucun	-	310
Chine	850	1950
Reste du monde	200	290
Totaux	1,220	3200

Où cela est-il appliqué ?

Le paillis de plastique est largement utilisé dans l'horticulture, en particulier dans la production de fruits et légumes.

Cependant, en Chine, les paillis sont également utilisés dans la production de céréales, telles que le maïs. Le marché du paillis de plastique a connu une croissance explosive au cours des deux dernières décennies. L'utilisation mondiale du paillis de plastique a presque triplé de 1999 à 2007, passant de 1220 à 3200 mille tonnes (Sarnacke et Wildes, 2008). Cette croissance est en grande partie due à l'utilisation intensive de paillis de plastique sur le continent asiatique (tableau 16). En Chine, l'utilisation accrue du paillis de plastique est favorisée par des subventions du gouvernement, en particulier dans les provinces du nord-ouest, sujettes à la sécheresse.

Le paillis de bioplastique représente également un marché en croissance, en raison des coûts élevés liés à l'enlèvement des paillis de plastique à base de pétrole. Aux États-Unis, les secteurs public et privé, concernés à propos de l'élimination des produits en plastique, soutiennent le marché des paillis de bioplastiques, bien qu'affichant de prix 1 à 3 fois plus élevés que ceux des paillis de plastique (Jiang et al., 2012). Basé sur l'analyse du marché de Sarnacke et Wildes (2008), l'augmentation de la demande pour les bioplastiques aux États-Unis est entraînée par :

- De grands détaillants, comme Wal-Mart et Target, vendant des bioplastiques pour leurs produits d'emballage,
- L'inquiétude du grand public sur l'épuisement des matières premières à base de pétrole,
- Des entreprises manufacturières ayant la volonté de développer des sources de matières premières plus durables,
- L'amélioration des propriétés des bioplastiques,

- Le soutien du gouvernement fédéral et national pour les produits plastiques biodégradables, et
- L'accroissement de la compétitivité des coûts des bioplastiques, par rapport aux plastiques à base de pétrole.

Coûts et bénéfices

Les producteurs doivent équilibrer les coûts et les bénéfices liés à l'utilisation de paillis. L'application et le retrait de paillis de plastique nécessite des coûts supplémentaires de main d'œuvre, mais qui sont compensés par l'augmentation de la production agricole d'environ 50%, pouvant



Figure 37. Essais avec le paillis biodégradable Biobag (Bio-Agri), présentant une dégradation étendue à la fin de la saison culturale, en réduisant les coûts liés à l'enlèvement (Photo: Russ Wallace, 2010).

représenter jusqu'à 4 ou 5 fois la production normale (Sanders, et al., 2011). L'augmentation des dépenses de paillis est en partie compensée par les économies réalisées sur la main-d'œuvre et les coûts énergétiques de l'enlèvement des mauvaises herbes, mais également sur les besoins d'irrigation réduits.

L'irrigation au goutte à goutte est largement utilisée en combinaison avec un paillis de plastique, ayant une utilisation efficace de l'eau de l'ordre de 90%. Le prélèvement total de l'eau selon cette technique représente

généralement la moitié de celui attribué à l'irrigation par rigoles ou aspersion (Kovach et al., 1999 ; Hartz, 1994).

La production de paillis d'acide polylactique (PLA) augmente avec la demande croissante pour les plastiques biodégradables. En outre, les coûts du paillis de polyéthylène sont assez comparables à bon nombre de produits (actuellement seulement environ 15% de plus) (voir aussi www.cupdepot.com). Un autre matériau, le PHA (polyhydroxyalcanoates), est produit par des bactéries et est actuellement significativement plus cher que le PLA (environ trois fois plus).

Une inquiétude grandissante persiste concernant les résidus de paillis de plastique dans le sol et les coûts globaux d'utilisation de ce type de paillis. Les coûts de l'enlèvement du paillis et son élimination aux États-Unis ont été estimés à 250 dollars US par hectare en 2004, affichant un désavantage coûteux de son utilisation (Olsen et Gounder, 2001). Ces préoccupations ont donc conduit à une recherche d'alternatives de paillis biodégradables (de figure 37).

Mécanismes de financement

En raison des bénéfices démontrés par le paillis de plastique, des programmes de subventions sont en place dans de nombreux pays, visant à promouvoir son utilisation. Le financement du paillis par le gouvernement reste particulièrement fréquent sur le continent asiatique. En Inde, le gouvernement subventionne 50% des coûts soutenus par les agriculteurs dans l'achat et l'installation de paillis de plastique. Selon l'État et la culture, la subvention maximale varie entre



Figure 38. - Utilisation de paillis de plastique
(Photo: MetaMeta)

7000 et 20 000 INR (Roupie Indienne) / ha, soit de 126 à 361 dollars US / ha. Un agriculteur peut bénéficier de cette subvention pour un maximum de 2 hectares de superficie cultivée (NCPAH, 2011). Afin de promouvoir la mise en œuvre, le gouvernement indien a mis en place une autorité unique traitant du paillis de plastique : Le Comité national sur l'application de la plasticulture en horticulture (Singh et al., 2010). De même, la Chine dispose d'un programme actif de subvention visant à stimuler l'utilisation de paillis de plastique chez les agriculteurs dans les zones arides. À

partir des années 1990, la Chine a subventionné le paillis de plastique dans le cadre du programme de distribution de nourriture et de vêtements du ministère de l'Agriculture. Les subventions pour les paillis de plastique représentaient alors jusqu'à 20% du prix du marché de paillis. Ils visaient notamment à stimuler la production de maïs (Banque mondiale, 2001). En raison de son succès considérable, ce programme de subvention est donc toujours d'actualité. Il a toutefois été élargi en 2010, lorsque le gouvernement central a offert une subvention de 23,4 dollars US / hectare pour les producteurs de maïs dans les provinces du Yunnan, du Guizhou et du Sichuan, dans la région autonome du Zhuang Guangxi et dans la municipalité de Chongqing, visant à utiliser le paillis de plastique. La superficie totale cultivée par ces agriculteurs a été estimée à 1,68 millions d'hectares (China.org ; 2010).

Mise en œuvre

Les paillis de plastique peuvent être appliqués manuellement ou mécaniquement sur le sol. Des trous sont percés dans le paillis et les graines ou les semis sont alors placés dans le sol exposé (voir

Tableau 17. Paillis agricoles disponibles dans le commerce, étiquetés comme biodégradables.

Nom du produit de mulch	Constituants	Fabricant
Ecoflex	Le PBAT ¹ est le composant principal	BASF, Allemagne
Bicosafe	Copolymères entièrement biodégradables tels que PBAT ¹ et PBSA ²	Xinfu Pharmaceutical Co., Ltd., Zhejiang, Chine
BioAgri	Amidon, dérivés d'huile végétale, et polymères synthétiques biodégradables non divulgués	Novamont, Novara, Italie
Bio-Flex	Mélange de PLA ³ et co-polyester	FKuR, Willich, Allemagne
BioTelo	Amidon, dérivés d'huile végétale, et polymères synthétiques biodégradables non dévoilés	Dubois Agrinovation, Waterford, Ontario, Canada
WeedGuard Plus	Cellulosique	Sunshine Paper Co. LLC, Aurora, CO

figure 38). Les trous peuvent être percés avant ou après que le paillis ne soit placé sur le sol. Pour percer les trous, l'espacement des semis doit être auparavant déterminé et le paillis de plastique plié en conséquence. Par exemple, si l'espacement entre chaque plant est de 45 cm, le paillis de plastique doit être plié tous les 45 cm et les trous, percés avec un tuyau en acier (chauffé).

Avant d'appliquer le paillis plastique sur le terrain, il est nécessaire de labourer le sol et d'apporter une bonne quantité de fumier et d'engrais. Le champ doit être formé en planches de cultures, d'une largeur d'environ 0,5 m de moins que le paillis lui-même. Un sillon doit alors être dessiné le long de chaque côté de la planche. Le paillis de plastique doit ensuite être déroulé ou déplié sur toute la longueur de la planche de culture. Une de ses extrémités doit ensuite être ancrée à une extrémité de la planche, ou fixée au sol en plaçant des briques ou autres objets lourds dessus. Un côté du paillis doit être placé dans le sillon, devant être ensuite remblayé en terre. Le paillis doit alors être solidement étiré sur la planche de culture, et l'autre côté doit être placé dans le sillon, de l'autre côté de la planche (qui doit être à son tour remblayé). De cette façon, le paillis doit continuer à être déployé et fixé dans les sillons par de la terre, de chaque côté de la planche de culture, jusqu'à ce que toute sa longueur soit couverte. Les graines ou les semis peuvent ensuite être placés dans le sol, à travers les trous réalisés dans le film plastique. Pour les semis de petite taille ou n'ayant pas encore poussé, les feuilles seront vulnérables aux brûlures, si elles se trouvent sur le paillis de plastique (il peut y faire très chaud).

Réussites et défis

Les défis liés à l'utilisation de paillis de plastique sont d'ordre financier et environnemental. Le prix du paillis de plastique est d'environ 0,10 à 0,14 dollars US / m², soit environ 700 dollars US / ha. Bien qu'il soit généralement considéré abordable aux États-Unis, il conserve un coût élevé dans de nombreux autres pays. Les subventions servent ainsi à compenser le coût des paillis et à promouvoir son utilisation dans nombre de ces pays.

En fonction de son épaisseur et de son utilisation, le cycle de vie des paillis de plastique varie entre 1 et 10 ans. Un aspect négatif de leur utilisation intensive est que leur élimination n'est bien souvent pas écologique, contribuant à la pollution plastique, en particulier dans les pays où les systèmes d'élimination ne sont pas organisés. Certains gouvernements contrebalancent cet impact négatif en imposant des amendes pour toute élimination inadéquate (Jingze et al., 2012). Les paillis biodégradables peuvent donc se révéler être une alternative pour relever ce défi (tableau 17).

Références

- Ashrafuzzman, M. et al. (2011). Effect of plastic mulch on growth and yield of chill (*Capsicum annuum* L.) (Les effets du paillis de plastique sur la croissance et le rendement du poivron (*Capsicum annuum* L.)). Archives brésiliennes de Biologie et Technologie, Volume 52, Numéro 2, pp. 321-330
- Brown, R.P. (2004). Polymers in agriculture and horticulture (Les polymères dans l'agriculture et l'horticulture). Rapport d'examen RAPRA.
- China.org (2010). China boosts funding for crops (La Chine accroît son financement pour les cultures). Communiqué de presse [en ligne] Disponible à l'adresse : http://www.china.org.cn/environment/2010-04/20/content_19860149.htm [Consultable depuis le 8 juin 2012].
- Hartz, T. K. (1994). Water management in drip-irrigated vegetable production (Gestion de l'eau dans

la production de légumes irrigués au goutte à goutte). pp. 12–15. In Using plasticulture technology for the intensive production of vegetable crops (L'utilisation de la technologie de la plasticulture pour la production intensive de cultures maraîchères). Séminaire de la société américaine de science horticole, du 28 au 29 sept. 1994, Lexington, KY.

Jiang, J., Marsh, T.L., et E. Belasco. (2012). Optimal Mulch Use and Disposal in Agriculture (Utilisation optimale du paillis et son élimination dans l'agriculture), document de travail, École des sciences économiques, Université de l'État de Washington.

Katan, J. (1981). Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests (Réchauffement solaire (solarisation) du sol pour le contrôle des ravageurs véhiculés par le sol). *Revue annuelle de phytopathologie* 19:211-236.

Kovach, S.P.; Curtis, L.M. et Hemelrick, D.G. (1999). Plastic mulch cover for vegetables (Le paillis plastique pour les légumes). Réseau d'information sur l'irrigation Alabama AG.

Miles, C., C. Beus, A. Corbin, R. Wallace, A. Wszelaki, H. Saez, T. Walters, K. Leonas, M. Brodhagen, D. Hayes et D. Inglis. 2009. Research and extension priorities to ensure adaptation of high tunnels and biodegradable plastic mulch in the United States (Recherche et prolongement des priorités pour assurer l'adaptation de hauts tunnels et de paillis de plastique biodégradables aux États-Unis). Congrès sur les plastiques agricoles, du 13 au 16 juillet, College Station, Pennsylvanie.

Miles, C., Hayes, D., Moore-Kucera, J., Brodhagen, M., Marsh, T., Corbin, A., Wallace, R., Wszelaki, A., Walters, T. Lee, J., et Inglis, D. 2011. Biodegradable alternatives to plastic mulch (Alternatives biodégradables au paillis de plastique). Dans: *Transforming Lives Transforming Landscapes. The Business of Sustainable Water Buffer Management (Transformer les paysages, transformer les vies : le rôle de la gestion durable des zones tampons)*. Steenbergen, F. van, A. Tuinhof et L. Knoop (Eds). Wageningen, Pays-Bas : 3R Water Secretariat.

NCPAH (2011). Practical Manual on Plastic Mulching (Manuel pratique sur le paillage plastique). Manuel technique du Comité national sur l'application de la plasticulture en horticulture, Département de l'Agriculture et de la Coopération, Ministère de l'Agriculture, Gouvernement indien.

Osiru, D.S.O. et Hahn, S.K. (1994). Effects of mulching materials on the growth, development and yield of white yam (Les effets des matériaux de paillage sur la croissance, le développement et le rendement de l'igname blanc). *Revue africaine de recherche agricole*, Volume 2, Numéro 2, pp. 153-160

Sanders, D.C. (2001). Using plastic mulches and drip irrigation from vegetable production (Utilisation de paillis de plastique et irrigation au goutte à goutte de la production de légumes) [en ligne] Disponible à l'adresse : <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-33.html> [Consultable depuis le 30 août 2011]

Sarnacke, P. et Wildes, S. (2008). Disposable bioplastics, consumer disposables and agricultural films, A market opportunity study (Bioplastiques jetables, films agricoles et consommation à usage unique, une étude d'opportunité de marché).

Singh, V.K.; Misra, R. et Panday, S. (2010). Mulching in Horticultural Crops (Le paillage des cultures horticoles).

Banque mondiale (2001). China, overcoming rural poverty (Chine, vaincre la pauvreté rurale). Une étude de pays de la Banque mondiale.

5.11 Conservation des sols et de l'eau à grande échelle

Tigré, Éthiopie

Le paysage du Tigré, au nord de l'Éthiopie, a subi une transformation remarquable. Un programme intensif de conservation des sols et de l'eau a été mis en œuvre au cours des quatre dernières années, restaurant la végétation, rehaussant les niveaux des eaux souterraines, stabilisant l'écoulement de base d'une manière plus régulière et influant sur le microclimat. Le travail à grande échelle et la planification locale ont été les clés de la réussite du projet.

Les technologies

Une variété de mesures a été entreprise dans le cadre du programme de conservation des sols et de l'eau dans le Tigré. Elles incluaient des mesures physiques (diguette en pierre, terrasse à flanc de coteau, diguette en courbe de niveau, traitement des ravines, micro-bassin et fosse pour plantation), des mesures biologiques (fermetures de zones pour la régénération, bandes enherbées, et reboisement) et des mesures de collecte de l'eau (dérivation de la rivière, mini barrage, barrage de retenue pour la collecte de l'eau, puits creusés manuels ouverts, valorisation des sources) (REST, 2011). Alors qu'auparavant l'accent était mis sur le contrôle de l'érosion des sols, à partir de 2009, l'intérêt est porté davantage sur la collecte de l'eau et la retenue de l'humidité. Des nouvelles techniques ont alors été introduites, telles que les fossés d'infiltration le long des diguettes en pierre dans les zones à faible pluviométrie. Le traitement des ravines a également été introduit, ainsi que de nouvelles espèces d'herbes et d'arbres fruitiers sur les terres concernées. L'ensemble des techniques individuelles ont été mises en œuvre en utilisant l'approche par bassin hydrographique, couvrant une superficie dans son intégralité et maximisant ainsi l'impact. Au cœur de cette nouvelle approche, la conservation des sols et de l'eau était axée sur les terres cultivées et non cultivées. Il a ainsi été déterminé que la conservation des terres cultivées passait essentiellement par les agriculteurs qui cultivent la terre, et la conservation des bassins hydrographiques, par la mobilisation du public. Une zone de fermeture a également été systématiquement introduite : les zones de conservation des sols et de l'eau ont été fermées aux animaux pendant au moins cinq ans, afin de permettre aux herbes et autre végétation de se régénérer, et des parcs d'engraissement pour le bétail ont ainsi été introduits.

Dans la période 2004-2009, plus de 167 000 hectares de coteaux dégradés ont été réhabilités, 275 000 km de digues de pierre ont été construites ; 900 millions de semis ont été plantés, et 66 000 km de routes ont été construites en milieu rural (CE, 2011). Au total, plus de 6 millions de structures de conservation des sols et de l'eau ont été construites dans le Tigré (tableau 19). Depuis 2009, le programme a été complètement réorienté, mettant fortement l'accent sur la planification locale et la gestion de zones tampons à grande échelle. En trois ans, 568 000 hectares ont ainsi été concernés.

Où cela est-il appliqué ?

Le Tigré est situé dans le nord de l'Éthiopie et possède un climat semi-aride, avec des précipitations variant entre 400 et 700 mm. La région possède une population de 4,4 millions d'habitants et une superficie de 5,3 millions d'hectares. Vingt pour cent du territoire est cultivé, la quasi-totalité de celui-ci par de petites exploitations. Les agriculteurs de cette région étaient vulnérables aux pertes de récoltes, liées aux sécheresses. Les gelées, les ravageurs et les taux de mortalité élevés sont d'autres facteurs représentant une menace majeure pour la production agricole. Afin d'améliorer la résilience des foyers face à ces chocs, un large éventail de techniques de conservation des sols et de l'eau a été mis en œuvre dans cette région. Le mouvement, lancé dans le bassin hydrographique du Tigré, est maintenant suivi dans d'autres régions du pays.



Figure 39. Gestion du bassin hydrographique mise en œuvre à grande échelle à Biki, dans le Tigré. Les collines sont protégées par des diguettes en pierre et des terrasses. L'assèchement du lit de la rivière a été solutionné grâce à l'utilisation du colmatage, permettant de rehausser le lit et d'améliorer davantage la recharge le long du cours de la rivière. Les zones de pâturage bordant la rivière ont été « reverdiées » et des puits creusés peu profonds dans la région ont par la suite été développés. Le pâturage a également été contrôlé, autorisant seulement les taureaux à paître sur les pâturages (puisque'ils sont en charge des travaux lourds). Aucun animal n'a été admis dans le lit de la rivière (dans lequel il n'était permis de couper les herbes qu'à la main.) La femme sur la photo est la gestionnaire désignée des champs de la communauté - chargée de donner des amendes aux personnes laissant leur bétail s'introduire. (Photo: MetaMeta).

Coûts et bénéfices

Les bénéfices de ce programme très récent restent à être quantifiés - mais les observations suivantes ont été faites par les agriculteurs et les observateurs visiteurs :

- Une amélioration de l'infiltration d'eau et augmentation de l'humidité sur leurs terres agricoles.
- Une augmentation du rendement des cultures (de 50 à 100%), en raison des conditions d'humidité améliorées, en particulier dans les zones à pluviométrie limitée.
- Des écoulements de base des cours d'eau locaux plus fiables et une sédimentation réduite. Une réduction des inondations des terres agricoles.
- Une émergence de nouvelles sources, dans les parties basses des bassins versants et une hausse du niveau des eaux souterraines.
- Des modifications du microclimat autour des bassins hydrographiques concernés et autour des zones de fermeture.

Les coûts monétaires du programme sont restés faibles, la plus grande partie des fonds ayant été apportés par les agriculteurs. Concernant ce point, les normes sont uniformisées - par exemple, le volume de travail d'un homme valide est égal à la construction de deux grands bassins en forme de croissant ou quatre petits bassins en forme de demi-lune, à l'excavation d'une tranchée profonde d'un mètre ou de 4 mètres de diguettes en pierre.

Un soutien supplémentaire a été apporté, dans le cadre du Programme de protection de la productivité (Productivity Safety Net Program), suscitant un apport de liquidités dans l'économie locale. Un des principaux enseignements tiré de ce récent programme a cependant montré que la principale force motrice reste la modification de la productivité des terres et la garantie apportée par les zones tampons. Les programmes « Vivres contre Travail » et « Argent contre Travail » ont ainsi marqué une dynamique spécifique, bien que les opportunités de travail priment parfois sur l'impact engendré sur les ressources productives.

Tableau 18. Structures de conservation / de recharge de l'eau mises en œuvre dans les bassins hydrographiques du Tigré jusqu'en 2008 (Source : Bureau du Tigré pour l'agriculture et le développement rural, 2011 et CE, 2010)

Type de structure	Unité	Quantité
Etang et fosse de percolation	Nombre	9052
Micro-bassin	Nombre	4 031 663
Grandes structures semi-circulaires	Nombre	31 627
Bassins en forme de croissant	Nombre	532 974
Structure en forme d'arête de poisson	Nombre	190 043
Barrage de stockage des sédiments	m ³	6675
Barrage en enrochement	m ³	162 470
Barrages de retenue en Gabion	m ³	573 775
Barrages de retenue en pierre	m ³	1 232 015
Drain coupé	km	26 159

Mécanismes de financement

La majeure partie du programme de conservation des sols et de l'eau a été réalisé par le travail volontaire organisé. Les contributions du dit Programme de protection de la productivité (Productivity Safety Net Program) ont été ajoutées.

En vertu des dispositions du travail libre, il a été exigé que chaque membre valide de la communauté travaille 40 jours en 2009 et 2010, sans percevoir de paiement. En 2011, ce nombre a été abaissé à 20 jours (comme il l'était avant 2009). Contrairement aux initiatives antérieures, cet accord a été très apprécié, la planification locale représentant le point de départ et les résultats se révélant significatifs. Des normes ont été établies quant à ce qui devait être fait en une journée de travail - par exemple 5 m de diguettes en pierre. La norme établie pour les femmes était la moitié de celle établie pour les hommes. Le travail a été mené hors-saison : en janvier et février.

Les contributions du Programme de protection de la productivité (Productivity Safety Net Program) ont été intégrées au programme de conservation de l'eau et des sols. Le travail fourni par les personnes en situation d'insécurité alimentaire chronique, dans le cadre du Programme de protection de la productivité, a été récompensé par de l'argent ou de la nourriture. L'inflation des prix des denrées alimentaires au cours du programme a alors entraîné une forte demande de la part des participants en nourriture, plutôt qu'en argent. De plus, les commerçants ayant pris pour habitude d'augmenter considérablement les prix alimentaires dès que l'argent était versé aux participants, ces derniers privilégiaient donc davantage la nourriture. Ce revirement était complètement à l'opposé des intentions du Programme de protection de la productivité, visant à supprimer l'approvisionnement alimentaire, car il espérait : « Que, grâce aux transferts en espèces, le Programme de protection de la productivité permettra aux petits exploitants d'accroître leurs niveaux de consommation et d'investissement, tout en stimulant le développement des marchés ruraux ».

Mise en œuvre

De 2009 à 2011, 568 000 ha ont été concernés, dans le cadre du programme de conservation des sols et de l'eau et, de plus, les agriculteurs ont également considérablement investi dans l'amélioration de leurs propres terres (nivellement, terrassement, amélioration des sols) et, dans le développement de puits à certains endroits. Outre les agences gouvernementales régionales, les principaux partenaires de mise en œuvre sont le PAM, CARE, REST, SC-UK, CHF, FHI, CRS, WVI et Plan International (Slater et al. 2006). La planification et la mise en œuvre locale, qui manquaient parfois dans les efforts antérieurs, ont été la clé du succès du programme. Sous l'égide du Bureau régional de l'agriculture et du développement rural (BoARD - regional Bureau of Agriculture and Rural Development), un système a été mis en place et la capacité a été développée, comme suit :

- Le Bureau du Tigré pour l'agriculture et le développement rural a fourni une formation et un soutien dans la planification aux districts (les worédas).
- Les worédas ont donné une formation et un soutien aux groupes de villages (les tabias).
- Les tabias (en coordination avec les représentants des worédas) ont offert une formation aux agriculteurs, à l'échelle des sous-bassins. Les principales activités ont alors été menées à ce niveau.
- Des organisations comme les syndicats d'agriculteurs, les associations de femmes et les

associations de jeunes, ont été impliquées dans la planification et la mise en œuvre des activités de conservation des sols et de l'eau.

Réussites et défis

Un certain nombre d'enseignements utiles peuvent être tirés du programme dans le Tigré. Premièrement, tel que mentionné, l'importance d'une mise en œuvre rapide et à grande échelle - en veillant à ce que tout soit réalisé correctement. Deuxièmement, la portée centrale de la planification locale et de la mise en œuvre locale, et l'importance de voir le processus de gestion de zones tampons au-delà d'un simple rôle de contrôle de l'érosion des sols. Troisièmement, la valeur d'un processus décentralisé et en quelque sorte désorganisé de mise en œuvre - il n'y avait aucune conception formelle et la plupart des activités ont été enregistrées au niveau le plus bas de l'administration seulement, bien que cela ait fonctionné. Enfin, le rôle de la tradition : beaucoup de nouvelles pratiques ont été créées, améliorées et mises en œuvre. On observe parfois une tendance à voir les traditions s'enraciner dans un passé lointain, mais le programme du Tigré démontre que des traditions peuvent être également créées dans un court intervalle de temps.

Le nombre d'arbres a également augmenté pour les foyers ayant participé au programme. La



Figure 40. Transformer le paysage à grande échelle en un court laps de temps (Photo: Bureau du Tigré pour l'agriculture et le développement rural).

participation au Programme de protection de la productivité (où la plantation d'arbres et les travaux de gestion forestière sur les terres publiques sont des activités habituelles) pourrait alors conduire à des foyers de plus en plus qualifiés dans le secteur forestier, entraînant en conséquence l'augmentation de la plantation de forêts.

Pourtant, certains défis demeurent toujours. Une évaluation du Programme de protection de la productivité a démontré que les gens restent toujours impliqués dans ces programmes, et que des activités supplémentaires liées au développement agricole, mais également au micro-crédit, doivent donc être introduites. De nombreuses activités d'irrigation à petite échelle sont également promues - mais il est possible d'améliorer la gamme d'options à la disposition des agriculteurs (comme l'introduction du développement de puits peu profonds manuels) et la qualité des services de conception et de construction dans les programmes publics.

De nombreuses autres opportunités demeurent accessibles afin d'améliorer davantage les activités mises en œuvre, particulièrement en raison de la forte dynamique qu'entraîne le programme du bassin hydrographique et l'appropriation locale des techniques inconnues, telles que la bio-ingénierie, les barrages de retenue en cascade et l'amélioration de l'irrigation de crue.

Références

- Berhane, G. et al. (2011). Evaluation of Ethiopia's Food Security Program: Documenting Progress in the implementation of the Productive Safety Nets Programme and the Household Asset Building Programme (Évaluation du programme de sécurité alimentaire de l'Éthiopie : Documenter les progrès dans la mise en œuvre du Programme de protection de la productivité et du Programme de renforcement des actifs des foyers). 19 octobre 2011
- CE (Commission européenne) (2011). Food security, Fighting hunger in Ethiopia through cash transfers for participating in public works (La sécurité alimentaire, Lutter contre la faim en Éthiopie grâce à des transferts en espèces pour la participation dans les travaux publics).
- Gilligan, D.O.; Hoddinott, J. et Tafesse, A.S. (2008). The impact of Ethiopia's Productive Safety Net Programme and its linkages (L'impact du Programme de protection de la productivité de l'Éthiopie et de ses liens.) Document de travail de l'IFPRI 00839
- REST (The Relief Society of Tigray), 2011. An overview of REST's implementation of the Productive Safety Net Programme (Un aperçu de la mise en œuvre par l'organisation REST du Programme de protection de la productivité). Field Exchange d'Emergency Nutrition Network, Numéro 40, pp. 59-66
- Slater, R.; Ashley, S.; Tefera, M.; Buta, M. et Esubalew, D. (2006). Ethiopia Productive Safety Net Programme – PSNP Policy, Programme and Institutional Linkages (Programme de protection de la productivité de l'Éthiopie - Politique du Programme de protection de la productivité, Programme et liens institutionnels) Rapport final 2006 [en ligne] Disponible à l'adresse : <http://www.odi.org.uk/resources/docs/3964.pdf>.
- Bureau du Tigré pour l'agriculture et le développement rural (2011). Rapport sur la conservation des sols et de l'eau.

5.12 Cuves de collecte des eaux de pluie

Amhara, Éthiopie

Les statistiques de précipitations annuelles de 770 mm (Lalibela) et 1 660 mm (Chagni) camouflent la rareté de l'eau périodique connue dans de grandes parties de l'État régional d'Amhara (ANRS), en Éthiopie. Plus de 85% des pluies arrivent durant la campagne Meher, de juin à octobre, laissant les terres arables sans approvisionnement au cours des derniers mois. Afin de prolonger la disponibilité de l'eau, plus de 10 000 cuves de collecte des eaux de pluie ont été construites dans l'État régional d'Amhara (ANRS). L'eau stockée dans ces cuves bénéficie aux foyers environnants, fournissant de l'eau pendant toute la saison d'irrigation, de décembre jusqu'à mai / juin.

Les technologies

Les cuves de collecte des eaux de pluie sont de grandes fosses creusées à des points centraux dans le bassin hydrographique, visant à conserver les eaux de ruissellement pendant les épisodes de pluie intenses. Typiquement, les cuves ont une forme trapézoïdale, avec la partie supérieure mesurant 10 mètres par 9 mètres et le fond, 6 mètres par 6 mètres. La profondeur des structures est de 3 mètres

Encadré 12 : Projet SWISHA



Plus de 10 000 cuves d'eau sont construites dans l'État régional d'Amhara (ANRS). Des dizaines de cuves de collecte des eaux de pluie, comme celle présente dans le village de Mekabia, ont été réalisées avec le soutien financier du Projet SWHISA - Sustainable Water Harvesting and Institutional Strengthening in

Amhara (Renforcement durable des institutions et amélioration des techniques de collecte d'eau dans la région d'Amhara), financé par l'ACDI. L'assistance technique a été assurée par une équipe de consultants internationaux et nationaux de Hydrosult Inc. (Canada), en association avec Agrodev (Canada) et Oxfam Canada.



Figure 41. a) The treadle pump used for lifting water from rainwater harvesting tank to the barrels; b) Drip system with two barrels and laterals. (Photos: MetaMeta).

et la capacité de stockage est d'environ 120 m³. Un toit constitué de poteaux en bois et de bâches en plastique couvre la cuve, afin de réduire les pertes d'eau dues à l'évaporation (voir encadré 12).

Les parois de la cuve sont en maçonnerie de pierre et le fond est en béton, afin d'éviter les pertes par percolation. Pendant les pluies, le ruissellement est dirigé vers la cuve par une structure en forme de V, placée à moitié en perpendiculaire à la direction de la pente. Avant d'entrer dans la cuve, l'eau est conduite à travers un piège à limon, évitant ainsi qu'un excès de limon ne pénètre à l'intérieur. Une fois que la cuve est pleine, elle est fermée et l'eau est alors stockée jusqu'à ce que l'irrigation, pendant la saison sèche, débute à partir de décembre. Au début de la saison, l'eau de la cuve de collecte des eaux de pluie est récupérée à l'aide d'une pompe à pédale (figure 46 a). Lorsque l'eau est envoyée dans les barils, une charge (pression) suffisante est créée pour amener l'eau dans un système d'irrigation au goutte à goutte situé plus bas (figure 41 b).

Où cela est-il appliqué ?

Le village de Mekabia fait partie de Yebucher Kebele, et est situé dans le Goncha Siso Enesse Wereda, dans la région Est du Gojjam, dans l'État régional d'Amhara. Le village se compose de 52 foyers, pour un total d'environ 208 personnes. Les foyers appartiennent à l'ethnie Amhara et sont membres de l'Église orthodoxe éthiopienne. Presque tous les foyers dépendent d'un système agricole mixte de production de cultures pluviales et d'élevage. Comme la plupart des précipitations se produisent entre juin et octobre, les agriculteurs ne peuvent cultiver qu'une fois par an, de juin à novembre / décembre. Les principales cultures pluviales cultivées dans le Goncha Siso Enesse Wereda comprennent le blé, le teff, les haricots, le maïs, les lentilles, les pommes de terre, et l'orge. La saison culturale commence généralement peu de temps après la courte saison des pluies, en mars / avril, avec la préparation des terres. Les cultures sont plantées de mai à juillet et récoltées entre octobre et décembre. Les rendements des cultures pluviales sont faibles, en raison de l'utilisation limitée d'engrais et de mauvaises pratiques agronomiques. Comme la plupart des foyers tirent leurs ressources de l'agriculture de subsistance, l'insécurité alimentaire augmente dans les années où il y a moins de précipitations, ou de longues périodes de sécheresse, au cours de la saison culturale. La vente d'animaux, la migration temporaire de la main-d'œuvre, et les prêts représentent alors les mécanismes les plus communs pour faire face à la pénurie alimentaire. L'élevage joue un rôle

important dans les moyens d'existence des foyers ruraux. Les bœufs sont utilisés pour la préparation du sol, le battage et le transport. Le lait des vaches est utilisé pour la production de différents produits laitiers, consommés au sein de la famille ou vendus localement. Le fumier du bétail est souvent la seule source d'énergie pour la plupart des foyers. Des moutons, chèvres et volailles sont également élevés par la plupart des foyers. Afin d'aider la population de Mekabia à élargir ses possibilités de produire des récoltes, une cuve de collecte des eaux de pluie a été construite au printemps 2007. La cuve a été construite juste en dessous d'une colline, où se trouvaient trois foyers. La taille estimée du « captage » ne représente pas plus de quelques hectares.

Coûts et bénéfices

La cuve permet à trois foyers du village de pratiquer la double récolte, grâce à l'approvisionnement en eau pendant la période sèche, entre décembre et mai / juin. Elle permet également d'irriguer une superficie totale de 342 m². Les cultures pratiquées sont celles du chou, de l'oignon, de la betterave, de la tomate, et du poivron. On estime qu'environ 60% des légumes cultivés sont utilisés pour la consommation domestique. Les 40% restants sont vendus par les trois foyers bénéficiaires dans la ville de Gunde Woyne, à une distance d'environ 5 km de leur village. Le revenu annuel total de la vente de légumes est estimé à environ 1 000 ETB (Birr éthiopien, soit 60 dollars US³³). TPar conséquent, la valeur estimée des légumes récoltés cultivés avec de l'eau de la cuve de collecte des eaux de pluie pendant la saison sèche, est d'environ 2 500 ETB (150 dollars US) par an.

Le réservoir de collecte des eaux de pluie à Mekabia est construit avec des parois en maçonnerie de pierre et un fond en enduit de ciment. Le coût total représente jusqu'à 31 815 ETB (1 905 dollars US), alors que les coûts de la pompe à pédale et du système de goutte à goutte sont de 440 ETB (26 dollars US) et de 2 285 ETB (137 dollars US), respectivement. Les coûts de construction d'une cuve de collecte des eaux de pluie incluent également le travail nécessaire pour excaver le sol sur le site, pour recouvrir les parois et le fond de la cuve, ainsi que le matériel nécessaire pour rendre les parois et le fond imperméables. Les matériaux nécessaires pour enduire les parois et le fond étant disponibles dans cette zone sont la maçonnerie de pierre, l'enduit de ciment, et les bâches en plastique (bâches en plastique géomembrane). À l'heure actuelle, le prix des cuves de collecte d'eau de pluie finies en maçonnerie de pierre et enduit de ciment, est beaucoup plus élevé que les cuves utilisant des bâches en plastique. Les raisons de cette différence sont que (i) le prix du ciment a augmenté de 200-250 ETB à 460 ETB par sac (100 kg), à l'exclusion des coûts de transport qui sont

Tableau 19. Les coûts de construction, différenciés pour les 3 types de cuves de collecte des eaux de pluie, dans la région d'Amhara

Type de cuve	Espérance de vie :	Coûts des matériaux		Coûts de main-d'œuvre :		Coûts totaux	
		ETB	% Coûts totaux	ETB	% Coûts totaux	ETB	USD
Maçonnerie de pierre	25 ans	16 711	64%	9 386	36%	26 097	1 563
Enduit de ciment	20 ans	10 781	46%	12 554	54%	23 335	1 397
Géomembrane	10 ans	767	16%	4 076	84%	4 843	290

33 1 dollar US = 16,7 Birr éthiopien (Mars 2011)

en moyenne d'environ 100 ETB par sac, (II) la finition sur les parois et le fond avec du ciment ou de la maçonnerie de pierre nécessite plus de travail que d'attacher des bâches en plastique dans la cuve, et (III) les bâches en plastique importées de Chine ont été subventionnées pendant plusieurs années à 50% de leur prix. Les coûts moyens de la construction de cuves de collecte des eaux de pluie³⁴ utilisant les matériaux cités précédemment pour le revêtement des parois et du fond, sont présentés dans le tableau 19.

La capacité de stockage de ces 17 cuves de collecte des eaux de pluie est de 115 à 130 m³ et la taille de leur périmètre d'irrigation varie de 300 à 400 m². En se basant sur les coûts de construction et la taille du périmètre d'irrigation, il est évident que les cuves utilisant des bâches en plastique géomembrane pour le revêtement des parois et du fond - avec un coût moyen de construction de 4 843 ETB (290 dollars US) - restent la seule option financièrement réalisable. Les cuves de collecte des eaux de pluie en maçonnerie de pierre ou en enduit de ciment sont trop coûteuses, avec des coûts moyens de construction de l'ordre de 26 097 ETB (1 563 dollars US) et de 23 335 ETB (1 397 dollars US), respectivement.

Mécanismes de financement

La contribution des trois foyers bénéficiaires aux coûts de construction comprend la fourniture de main-d'œuvre gratuite, des pierres pour les murs, ainsi que des poteaux d'eucalyptus et des bâches en plastique pour le toit. Les trois foyers bénéficiaires sont entièrement responsables de l'exploitation et de la maintenance de la cuve de collecte des eaux de pluie et du système de goutte à goutte installé. La maintenance comprend le nettoyage annuel de la cuve, en enlevant le limon du fond de la structure. Afin de mener à bien ces tâches avec succès et d'utiliser le système de collecte des eaux de pluie de manière optimale, les membres féminins et masculins des trois foyers bénéficiaires ont participé à des formations sur (I) l'exploitation et la maintenance de systèmes de goutte à goutte ; (II) les cultures d'irrigation (le maraîchage) ; (III) la planification de l'irrigation ; et (IV) sur la manière de cultiver et repiquer de jeunes semis.

Mise en œuvre

Les cuves de collecte des eaux de pluie sont construites à des points dans le bassin hydrographique où, lors d'événements pluvieux, se forme l'écoulement de surface et où il peut être retenu, mais également réutilisé. La détermination de ces endroits est plus facile à faire au cours de la saison des pluies et en consultation étroite avec les résidents. Une fois que le lieu est identifié, les cuves sont creusées par des entrepreneurs locaux.

Réussites et défis

L'eau stockée dans la cuve de collecte des eaux de pluie a permis aux trois familles de produire une

34 Le tableau est basé sur les informations récoltées à partir de 17 cuves de collecte des eaux de pluie dans la région de Mekabia, et se compose d'un échantillon de 6 cuves réalisées en maçonnerie de pierre, 5 cuves en enduit de ciment, et 6 cuves en bâches plastique.

deuxième culture, leurs offrant les bénéfices suivants :

1. Un revenu annuel supplémentaire de 50 dollars US, leur permettant de:
 - a. acheter des engrais chimiques pour les cultures pluviales ;
 - b. acheter des produits alimentaires de base, tels que le sel et l'huile de cuisson ; et
 - c. améliorer l'état de leurs maisons.
2. Une amélioration de la santé, en raison d'un régime alimentaire plus diversifié comprenant plus de légumes.

Bien que les cuves soient en mesure de fournir ces bénéfices pendant des années, une exploitation correcte et une bonne maintenance sont des exigences fondamentales pour garder leur haute performance, réduire au minimum les pertes d'eau, et prévenir les risques inutiles. Basé sur l'expérience acquise avec la construction de plus d'une dizaines de milliers de structures de collecte des eaux de pluie dans la région d'Amhara, les problèmes les plus fréquemment rencontrés, liés au fonctionnement des structures de collecte des eaux de pluie, ainsi que les stratégies d'atténuation, sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20. Les problèmes identifiés et les stratégies d'atténuation proposées pour une utilisation optimale et fiable de l'eau de pluie

Problème	Stratégie d'atténuation
<ul style="list-style-type: none"> • Envasement de la structure en raison de l'érosion des sols 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement du captage, comprenant la plantation d'arbres et la construction de diguettes de terre / de pierre, pour réduire les problèmes d'érosion • Construction de la prise d'eau avec un piège à limon, pour éviter aux limons de pénétrer dans la structure de collecte des eaux de pluie.
<ul style="list-style-type: none"> • Traitement du captage, comprenant la plantation d'arbres et la construction de diguettes de terre / de pierre, pour réduire les problèmes d'érosion • Construction de la prise d'eau avec un piège à limon, pour éviter aux limons de pénétrer dans la structure de collecte des eaux de pluie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revêtement des parois et du fond de la structure de collecte des eaux de pluie, afin de réduire les pertes d'eau par percolation. • Construction de toit pour éviter les pertes d'eau dues à l'évaporation et la pollution par la chute des feuilles.
<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation inefficace de l'eau collectée au niveau du champ 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation du système de goutte à goutte pour améliorer l'utilisation efficace de l'eau lors de l'irrigation des cultures.
<ul style="list-style-type: none"> • Accidents impliquant des enfants tombant dans la structure remplie d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Construction d'une clôture autour du réservoir, pour empêcher les enfants de tomber dans la structure de collecte des eaux de pluie

5.13 Mise en réserve de l'eau de source et en haute altitude

Andes, Pérou

Le précédent ouvrage des 3R relatif à « La gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique » a présenté l'application de barrages de rétention en surface, en haute altitude, comme moyen d'adaptation au changement climatique dans les Andes péruviennes. Au cours des deux dernières années, plusieurs nouveaux barrages et bassins ouverts supplémentaires près de sources ont été construits dans la région. Ci-dessous, les impacts de ces structures de rétention en surface sont résumés et documentés dans le rapport « Renforcer l'utilisation durable des ressources naturelles dans le bassin d'Ocoña, au Pérou » par A. Franck et al., (2012). Ce projet pilote fait partie du projet ADAPTS.



Figure 42. a) Étang de stockage en haute altitude; b) Bassins ouverts recouverts pour la mise en réserve de l'eau de source (Photos: Acacia Water).

Les technologies

Barrages de haute altitude

Quatre barrages ont été construits dans les régions de haute altitude au Pérou dans le cadre du projet ADAPTS. Derrière les barrages, des réservoirs à petite échelle ont été créés pour recevoir de l'eau pendant la saison humide. L'eau stockée dans ces réservoirs se situe donc à une altitude élevée et est alors utilisée à des altitudes inférieures, où la température plus élevée permet à davantage d'espèces végétales de croître. La quantité de précipitations augmentant avec l'altitude, le stockage de l'eau à des altitudes plus élevées - plutôt qu'au point d'utilisation - permet de recueillir plus d'eau pendant la saison des pluies. Elle est ensuite transportée par de petits canaux, à travers les systèmes existants de petites rivières.

Les barrages répondent à plusieurs besoins. Le barrage le plus haut dans le bassin versant, à environ

4 900 m, a été construit pour restaurer et accroître la superficie des « bofedales » (zones humides de haute altitude). Celles-ci représentent une source importante de nourriture pour les lamas et les alpagas, parqués à ces endroits. Les réservoirs à petite échelle rechargent les bofedales, soit par infiltration (augmentant ainsi le niveau des eaux souterraines dans la vallée en dessous), ou - si la première option ne fonctionne pas - en amenant l'eau du réservoir vers la bofedales, à travers de petits canaux, au cours de la période sèche.

Les autres réservoirs sont situés un peu plus bas dans le bassin versant - mais encore très élevé - à environ 3900-4300 m. En plus de fournir de l'eau potable pour le bétail, ces réservoirs sont utilisés comme source d'eau pour l'agriculture durant la période sèche, pour irriguer la production de fourrage et pour l'irrigation dans le cadre d'un projet de reboisement.

Bassins ouverts proches de sources

Dans cette région, les droits sur l'eau sont organisés de telle manière que les agriculteurs obtiennent l'accès à l'eau des sources avec de grands intervalles, un système qui est basé sur une tradition de longue date et qui reste donc difficile à changer. Afin de fournir de l'eau pendant les périodes de non droits sur l'eau, les bassins ont été construits près des sources ou des canaux de distribution de l'eau. Ces étangs ouverts sont utilisés pour l'irrigation et pour mettre en réserve la quantité d'eau d'irrigation disponible. L'approvisionnement en eau naturelle reste ainsi relativement constant toute l'année. Le système des droits sur l'eau provoque un problème de distribution, qui est résolu par les agriculteurs grâce à la rétention d'eau pour l'irrigation.

Dans le cadre du projet pilote, deux bassins d'irrigation ont été construits. Certains des bassins étaient couverts d'un filet visant à minimiser l'évaporation (figure 42 b). Pour optimiser l'utilisation de l'eau, les bassins ont été combinés avec des systèmes d'irrigation au goutte à goutte, ou par aspersion (figure 43).

Où cela est-il appliqué ?

Au Pérou, le changement climatique est considéré comme une menace pour la disponibilité future de l'eau, notamment de par le retrait des glaciers et une quantité de précipitations en baisse. De plus, le pays fait maintenant face à une saison sèche marquée, entraînant des pénuries d'eau pour l'agriculture en haute altitude. Dans le bassin versant d'Ocoña, dans la région des Andes, au sud du Pérou, plusieurs grands glaciers sont considérés comme des éléments importants du système hydrologique. Au cours de la dernière décennie, le glacier Coropuna a déjà perdu, à la plus haute altitude, 37% de son volume total. De tels effets du changement climatique appellent à une action urgente aux niveaux local et national.

Barrages de haute altitude

Avant la construction, la capacité d'infiltration du sol a été testée. Les zones ayant une capacité d'infiltration raisonnable ont été choisies, de sorte que les réservoirs derrière les barrages puissent servir comme étangs d'infiltration et comme étangs de stockage. Concernant le barrage qui a été conçu pour reconstituer les zones humides en haute altitude, un emplacement a été choisi là où la recharge de l'aquifère se produirait naturellement, soit environ 100 m en aval du barrage. Les zones ayant été sélectionnées avaient une topographie assez escarpée, afin de créer un réservoir d'une

superficie relativement petite en surface par rapport à sa profondeur, de sorte que les pertes par évaporation restent minimales.

Bassins ouverts proches de sources

The basins were located below the spring, but above the irrigated areas, so that the water could be gravitationally transported to the crops.

Coûts et bénéfices

La construction de chaque barrage de haute altitude coûte environ 36 000 dollars US, incluant les frais de transport et de matériels. Les bassins proches de sources étaient plus petits et ne bénéficiaient qu'à une seule famille de fermiers. Ils étaient faits de murs de terre recouverts de bâches en plastique, ces dernières se trouvant sous deux formes, une coûteuse ayant une durée de vie d'environ 15 ans et une moins chère, ayant une durée de vie de 2-3 ans. Le coût de la bâche en plastique la moins chère est amorti par l'augmentation de rendement résultante sur un an.

La capacité des réservoirs dans la partie haute du bassin versant varie de 110 000 à 220 000 m³. Les bassins proches de sources ont une capacité d'environ 250 à 400 m³ et peuvent être rechargés plusieurs fois par an, avec de l'eau de source.

Chaque réservoir de haute altitude conçu pour une utilisation agricole peut irriguer environ 5 hectares. Les barrages conçus pour réapprovisionner les zones humides devraient pouvoir étendre les zones humides par une superficie comparable. En outre, les réservoirs peuvent être utilisés pour fournir de l'eau pour le bétail. La qualité du bétail est également susceptible d'augmenter, n'ayant plus besoin de se déplacer sur de longues distances à la recherche de fourrage et d'eau.

Pour les bassins ouverts proches de sources, l'augmentation de la superficie irriguée est d'environ 2 ha, en raison de la combinaison des bassins et des systèmes d'irrigation améliorés. Le nouveau système d'irrigation permet un réglage précis de la fourniture d'eau selon les besoins spécifiques des différentes cultures. Une nouvelle culture commerciale (l'ail) est maintenant récoltée et d'autres



Figure 43. a) Étang de stockage en haute altitude; b) Bassins ouverts recouvert pour la mise en réserve de l'eau de source (Photos: Acacia Water).

cultures commerciales, comme le maïs et les tomates, sont prévues sur l'un des deux bassins d'irrigation construits dans le cadre du projet pilote. Le deuxième bassin permettra de produire du fourrage pour quatre vaches supplémentaires.

Mécanismes de financement

L'expérimentation a été mise en œuvre dans le cadre du projet ADAPTS, faisant partie des 6 projets pilotes menés dans différents pays. Le projet ADAPTS vise à permettre aux communautés dans les pays en développement de répondre efficacement aux conséquences du changement climatique dans le secteur de l'eau. Les barrages et les bassins ont été cofinancés par les municipalités, ayant apporté la majeure contribution. La municipalité de la ville d'Andaray a contribué à l'apport de machines et de main-d'œuvre, tandis que l'ONG locale, AEDES, a fourni des connaissances techniques et la supervision commune pendant la phase de construction.

Les barrages de haute altitude ont été construits et sont actuellement entretenus par une municipalité d'environ 300 foyers. Les bassins ouverts sont des investissements réalisés par les agriculteurs individuels, dans le cadre du projet et avec le soutien de l'ONG locale.

Mise en œuvre

Un élément important du projet ADAPTS réside dans le lien avec les institutions à différents niveaux. Le projet a permis de bâtir des relations avec le bureau du changement climatique du ministère de l'Environnement. Celui-ci a ainsi soutenu la création de deux aires de conservation privées gérées par les communautés locales, la municipalité, et le gouvernement régional d'Arequipa. Le bureau coopère également dans le processus de conception d'un plan de gestion des sous-bassins. Un premier pas a déjà été accompli dans l'élaboration de ces plans pour Chorunga et Arma-Chichas. L'approche, visant à débiter au niveau du sous-bassin afin de créer un plan de gestion du bassin versant pour l'ensemble du bassin d'Ocoña, a notamment intéressé d'autres acteurs influents et, si elle se révèle efficace, pourrait devenir un modèle pour d'autres bassins versants péruviens.

Ces deux premiers projets sont donc attendus comme un exemple pour les autres communautés. L'application de la rétention d'eau et de l'irrigation est maintenant enseignée dans une école, disposant également d'une expérimentation sur le terrain avec des pratiques comparables. Les projets pilotes ne sont pas seulement importants pour leurs effets directs sur les agriculteurs concernés. Ils aident également à créer une dynamique parmi les familles, les communautés et les municipalités, afin de s'engager dans l'amélioration des systèmes de gestion de l'eau, à la fois pratique en termes d'investissement dans des systèmes améliorés, et en s'engageant à développer les structures institutionnelles nécessaires pour résoudre les problèmes d'adaptation (telles que des agences de l'eau et des plans de gestion du sous-bassin). Certaines organisations importantes, telles que les agences de l'eau, ou les comités d'irrigation, ont un rôle crucial à jouer dans la création des changements nécessaires, mais doivent encore être renforcées pour mieux fonctionner.

Réussites et défis

Le projet pilote a démontré que les bassins d'irrigation engendraient des bénéfices directs. Ils ont ainsi permis d'améliorer l'irrigation, de doubler la superficie irriguée et d'améliorer la

production végétale et animale. Ils soutiennent ainsi la hausse des rendements, si des cultures plus commerciales sont appliquées dans le futur.

Le défi consiste maintenant à maintenir de bons résultats après la détérioration des bassins, qui nécessitent alors de nouveaux investissements. Un autre défi consiste à réviser le système des droits sur l'eau afin d'optimiser l'utilisation de l'eau. Mais la plus grande difficulté reste peut-être celle d'accroître l'échelle et d'intégrer les solutions à petite échelle, dans la stratégie nationale de gestion des ressources.

Références

Franck, A., Lasage, R., Tolk, L., 2012. Enhancing the sustainable use of natural resources in the Ocoña basin, Peru (Amélioration de l'utilisation durable des ressources naturelles dans le bassin d'Ocoña, Pérou). www.adapts.nl

Tolk, L., Groen, K., 2011 Small scale reservoirs in the highlands of the Ocoña basin (Réservoirs à petite échelle dans les hautes terres du bassin d'Ocoña)

5.14 Récolte de l'eau de pluie sur les toits et usages multiples de l'eau

Népal

Biogas Sector Partnership Nepal (BSP-Népal) dispose d'une large expérience dans le micro-financement des projets de production de biogaz à l'échelle des foyers, dans les zones rurales.



Figure 44. Le stockage des eaux de pluie, au Népal. (Photo: Acacia Water).

Puisque l'eau est également nécessaire pour la production de biogaz, BSP-Népal a adopté la collecte des eaux de pluie (CEP) - qui implique la collecte et le stockage de l'eau sur le toit - dans le cadre de sa stratégie d'adaptation. Actuellement, les installations de biogaz sont combinées avec des cuves de collecte des eaux de pluie dans les zones où d'autres sources d'eau ne sont pas disponibles. BSP-Népal a mis en place de tels systèmes CEP, rendant ainsi l'eau disponible dans trois districts du Népal pour la production de biogaz, mais également pour l'eau de consommation, d'autres petits usages domestiques et pour l'irrigation, avec le soutien financier de la Fondation néerlandaise RAIN (Rainfoundation.org).

Grâce à ses projets précédents, BSP-Népal a prouvé que les interventions axées sur la santé, tels que le biogaz, peuvent atteindre les populations pauvres en milieu rural au moyen de micro-crédits. Elle a ainsi développé plus de 200 000 installations de biogaz au Népal, en combinant les micro-prêts et de petites subventions. Actuellement, cette modalité est appliquée aux systèmes de CEP,

au moyen d'expérimentations ayant débuté en 2010. Cette étude de cas décrit les résultats de ces expérimentations pour la mise en œuvre et le micro-financement des systèmes CEP, résumant ainsi le rapport « R&D in Rainwater Harvesting: Lessons Learnt regarding Multiple Use » (La R et D dans la collecte des eaux de pluie : les enseignements tirés concernant l'utilisation multiple), par BSP-Népal et le projet « Micro-financement Rainwater Harvesting in Nepal: Modality and Challenges » (Micro-financement de la collecte des eaux de pluie au Népal : Modalité et défis), par les Dr. Indira Shakya, Balaram Shrestha et Charushree Nakarmi.

Les technologies

Au Népal, trois régions rurales ont été choisies pour la mise en œuvre de systèmes de CEP. Dans chacune des régions, une combinaison de techniques légèrement différente a été utilisée. Dans le district de Salyan, des étangs en plastique ont été mis en œuvre pour la micro-irrigation. Dans le Kavrepalanchowk, un étang d'argile et de ciment, ainsi que des systèmes de micro-irrigation, ont été intégrés avec les systèmes existants de production de biogaz et des cuves CEP. Dans le Syangja, des systèmes CEP entièrement intégrés visant à satisfaire des usages multiples ont été mis en œuvre.

Dans le cadre du projet du Salyan, des étangs en plastique sont utilisés pour recueillir l'eau de pluie et l'eau en excès de l'approvisionnement public en eau. Cette eau est utilisée pour l'irrigation à travers différentes techniques de micro-irrigation, comme par exemple des systèmes d'irrigation au goutte à goutte, par asperseurs, ou une irrigation courante. La forme des étangs est trapézoïdale, avec une taille de surface de 7,40 m par 3,40 m et une profondeur de 1,5 m. La capacité des réservoirs est de 18 m³. Dans le cadre de ce projet de recherche, 20 étangs en plastique intégrés avec des micro-asperseurs ont été installés pour la collecte des eaux de pluie, avec l'objectif d'améliorer les moyens de subsistance des populations rurales.

Dans le Kavrepalanchowk, des étangs d'1 m³, revêtus d'argile, ont été construits. Ces étangs sont des constructions circulaires, avec un rayon au sommet de 75 cm et une profondeur de 70 cm. Ils sont utiles, à la fois pour la collecte des eaux usées et des eaux pluviales. Les eaux récoltées dans l'étang revêtus d'argile et de ciment de 1 m³, dans le Kavrepalanchowk, sont principalement des eaux usées de cuisine, ayant servi à laver les légumes et les ustensiles, et les eaux utilisées pour un usage personnel, tels que pour se laver les mains et les pieds. Si ces bassins sont utilisés pour la récolte des eaux usées de la cuisine, il peuvent également être utilisés pour l'irrigation des jardins potagers, en utilisant des systèmes de goutte à goutte. Si l'eau de pluie est récoltée, elle peut être utilisée à des fins domestiques.

Dans le cadre du projet du Syangja, des systèmes CEP entièrement intégrés visant à satisfaire des usages multiples ont été mis en œuvre. Les cuves CEP, le biogaz, les toilettes, et les étangs revêtus d'argile et de ciment, avec des systèmes de goutte à goutte, ont été combinés en un seul système. BSP-Népal a construit des cuves en maçonnerie de pierre pour répondre aux besoins en eau des foyers ; les toilettes ont été rattachées aux installations de biogaz pour la production d'énergie, et des étangs revêtus d'argile et de ciment, pour la collecte d'eau, ont été intégrés avec les systèmes d'irrigation au goutte à goutte pour l'irrigation. Ce système de collecte des eaux de pluie intégré a été installé dans 20 foyers dans la région.

Où cela est-il appliqué ?

Le Népal est un des pays les moins avancés du monde. La majorité de ses habitants (86%) vit dans des communautés rurales et 24,7% de la population vit en dessous du seuil de pauvreté (troisième enquête de 2011 sur les niveaux de vie). L'agriculture représente le premier secteur économique du pays et plus de 80% des travailleurs économiquement actifs au Népal sont engagés dans le travail agricole. L'agriculture conserve encore sa forme traditionnelle dans une grande partie du pays, en particulier dans les montagnes. Une majorité des personnes vivant dans les communautés rurales sont de petits agriculteurs, des locataires et des pauvres sans terre.

Les trois régions dans lesquelles les études pilotes sont mises en œuvre sont situées dans les zones montagneuses et de moyennes montagnes du Népal : Le Kavrepalanchowk est situé près de

Katmandou, le Syangja est au centre du Népal et le Salyan se trouve dans l'ouest du pays. La région a un climat de mousson. Près de 85% des précipitations totales au Népal sont généralement reçues sur une période de quatre mois seulement, entre juin et septembre. Les deux tiers restants de l'année restent plutôt sec, dans tout le pays. La gestion de l'eau joue donc un rôle important dans la vie du peuple népalais (Fondation RAIN, 2010).

Coûts et bénéfices

Les coûts directs par 1 m³ de cuve ont été estimés à environ 1 500 NPR (Roupie népalaise, soit 17 dollars US). Cette estimation est basée sur les coûts du ciment, du sable, de la main-d'œuvre qualifiée et globale, et exclut les contributions communautaires. En incluant les contributions de la communauté, comme le travail non qualifié, la collecte de matériaux locaux, l'analyse du sol, et d'autres formes de soutien, le coût total se chiffrerait à environ 2 100 NPR (Roupie népalaise, soit 25 dollars US) (BSP-Népal, 2010). Ce calcul n'inclut pas le coût du transport du ciment depuis le marché local à proximité.

Un système de cuve fermée complet de 10 m³, avec une irrigation au goutte à goutte, nécessite un investissement d'environ 50 000 à 60 000 NPR (560 à 680 dollars US) (Fondation RAIN, 2010 et communication personnelle, I. Shakya, CECEP).

Dans le Syangja, 144 personnes provenant de 20 foyers différents ont bénéficié du projet. L'eau de pluie récoltée ici est utilisée pour l'eau potable, en mélangeant l'alimentation de l'installation de biogaz, les besoins pour les toilettes, et pour l'irrigation. Les eaux usées de la cuisine, recueillies

Tableau 21. Changement dans la production agricole, dans le cadre du projet du Salyan. La variation de la valeur de trésorerie, en raison de la disponibilité de l'eau pour l'irrigation, est présentée dans la section 'quantité', en roupies népalaises (1 NPR = 0,011 dollar US), la moyenne par foyer étant d'environ 50 dollars US (Source: Enquête de terrain, 2010).

Cultures	Quantité (kg)			Taux moyen	Montant
	Avant	Après	Augmentation/ Diminution		
Maïs	12 150	12 150	0	50	0
Millet	4050	4050	0	75	0
Pomme de terre	675	4050	3375	45	151 875
Tomate	140	3375	3235	35	113 225
Haricot	3375	4000	625	125	78 125
Pois chiche	2025	2440	525	150	78 750
Moutarde	1350	1755	405	120	48 600
Riz paddy	4200	4200	0	25	0
Blé	5560	6116	556	120	66 720
Autres légumes	1620	3240	1620	20	32 400
				Total	569 695
				Moyenne par foyer	4220,0

dans les étangs revêtus d'argile et de ciment, sont utilisées pour l'irrigation, grâce à des micro-systèmes de goutte à goutte. L'eau collectée depuis l'étang, dans le Salyan, est principalement utilisée pour l'irrigation, le bétail, et le lavage. Dans cette région, un total de 135 bénéficiaires a répondu à l'enquête de terrain. L'eau dans l'étang revêtu d'argile et de ciment de 1 m³, dans le Kavrepalanchowk, a été principalement utilisée pour l'irrigation. Une superficie d'environ 250 m² par foyer a été irriguée par le micro système de goutte à goutte. De plus, les propriétaires transportent parfois l'eau dans des seaux pour arroser leurs terres agricoles, étendant leurs terres irriguées jusqu'à 500 m².

L'eau restant dans la cuve a été utilisée par les bénéficiaires pour abreuver leur bétail.

L'augmentation du potentiel d'irrigation a notamment permis aux bénéficiaires d'initier un potager. Ils ont réussi à cultiver suffisamment de légumes saisonniers pendant la période sèche, afin de satisfaire leurs besoins et pouvoir ainsi vendre le reste des légumes sur le marché.

Des changements dans le rendement des cultures ont été observés au cours de l'hiver, pendant la saison morte agricole. Le tableau 22 montre cette augmentation de rendement de la zone du projet, dans le district de Salyan. Selon les bénéficiaires, ce changement marqué est principalement attribuable à l'augmentation de la disponibilité de l'eau pour l'irrigation.

Tableau 22. Etats des projets mis en œuvre grâce au micro-financement. Le montant du crédit principal est de 15 000 NPR (soit environ 165 dollars US).

Nom de l'IFM	Sindhupalchowk <i>Epargne unifiée Bhot-sipa et Coopérative de crédit Limité</i>	Palpa <i>Epargne Satkond et Coopérative de crédit Limité</i>	Salyan <i>Epargne Kupinde-daha et Coopérative de crédit Limité</i>
Financement accordé	22	42	40
Montant du prêt principal (NPR)	15,000	15,000	15,000
Taux d'intérêt IMF (%) aux utilisateurs	14	14	14
Période de remboursement du prêt	3 ans	3 ans	3 ans
Nombre de versements mensualités	36	36	36
Mensualités	512		
Début du remboursement/débutera en	May 2011	June 2012	July 2012
Nombre de versements remboursés	12	-	-
Montant remboursé par foyers (intérêt + principal)	6144	-	-

Mécanismes de financement

En raison de l'insuffisance d'infrastructures, un accès limité aux services financiers formels persiste dans la plupart des zones montagneuses au Népal. On estime que 17,6 millions de personnes dans le pays manquent d'accès aux services financiers (BSP-Népal, 2011 : NEFSCUN, 2009) et seulement 39,9% de la population a accès aux banques commerciales (BSP-Népal, 2011 : CBS, 2011). La situation est particulièrement alarmante dans les zones rurales. Les instituts de microfinance comblent alors cette lacune en fournissant des services financiers. On estime qu'il existe déjà plusieurs milliers (> 11 000) d'institutions de microfinance, partout au Népal. Leur présence croissante a également conduit à une réduction du taux d'intérêt, normalement facturés par des sources privées de prêt. (Shakya et al., 2011).

La microfinance est une composante importante des projets décrits dans cette étude de cas. Par exemple, le coût estimatif d'un système de collecte CEP de 10 m³ dans les zones reculées et rurales est d'environ 500 euros. Une subvention est déjà en place pour un montant de 200 euros (40%) ; 150 euros (30%) sont fournis à titre de prêt et les 150 euros restants (30%) sont pris en charge par les utilisateurs en nature et / ou en espèces. Le prêt doit être remboursé dans les 3 ans (Fondation RAIN, 2010).

La Fondation RAIN a choisi une telle modalité car le programme cible des zones difficiles, et les plus pauvres parmi les pauvres. En outre, cette modalité s'est avérée bénéfique pour la mise en œuvre des systèmes de biogaz, pour le même type de bénéficiaires. Une première somme est mise à disposition par la Fondation RAIN comme fonds de démarrage, afin de créer un fonds de roulement pour le prêt CEP lors de la phase de pilotage. Le tableau 23 résume l'état des projets mis en œuvre dans cette expérimentation (Shakya et al., 2011).

Mise en œuvre

Le programme pilote de microfinance et CEP est coordonné par le Centre d'Expertise pour la Collecte des Eaux de Pluie de RAIN (CECEP), au BSP-Népal. Basé sur l'étude du marché de préfaisabilité de BSP-Népal concernant la CEP et le micro-financement, les régions avec (Comité de développement du village / Comité de développement du district) le plus grand potentiel pour la promotion de la CEP et de la micro-finance ont été identifiées par l'analyse des facteurs clés (tels que la pénibilité à laquelle font face les femmes pour récupérer de l'eau, l'ampleur de la pénurie d'eau, les facteurs socio-économiques et culturels, la disponibilité et le coût des matériaux de construction, et les possibilités de générer des activités économiques liées à la CEP). Le CECEP conclura par la suite un accord avec une institution de microfinance (Schoemaker, 2010).

La sélection des zones de mise en œuvre des systèmes de CEP est également basée sur certains critères : des zones où aucune autre source d'eau n'est disponible, une distance à la source d'eau trop longue, ou une source d'eau contaminée. Les systèmes CEP sont installés sous la supervision directe, la surveillance et le suivi, d'une ONG partenaire locale et de BSP-Népal.

L'ensemble du processus du projet est réalisé avec une approche participative. Les femmes, les pauvres et les groupes défavorisés sont directement impliqués dans tous les processus, tels que la collecte des données pour le projet, l'identification, la sélection, la mise en œuvre ainsi que le suivi de l'exécution du projet.

Basée sur les résultats de l'expérimentation, une stratégie sera élaborée pour améliorer encore cette modalité, ainsi que pour la développer à travers tout le pays. Les enseignements tirés de cette

expérience seront partagés avec les organismes gouvernementaux concernés et les partenaires d'exécution.

Réussites et défis

Au Népal, le micro-financement a été déjà mis en œuvre avec succès, pour financer les systèmes de biogaz. Actuellement, cette modalité est également mise en œuvre pour les systèmes CEP. Les enseignements tirés, mais également l'infrastructure financière des projets de biogaz, sont utilisés pour la mise en œuvre de la CEP et les résultats semblent prometteurs. Dans les projets actuels, l'argent des donateurs est toujours inclus, afin que les projets soient à la portée des populations pauvres du Népal.

Références

BSP-Népal, 2011. R&D in Rainwater Harvesting: Lessons Learnt regarding Multiple Use (La R et D dans la collecte des eaux de pluie : les enseignements tirés concernant l'utilisation multiple). 56 p.

Fondation RAIN, 2010. Pilot programme for RWH-micro financing (Programme pilote de microfinancement des CEP), rapport d'activité de 2010.

Fondation RAIN, 2010. Make that drop count! Rainwater harvesting and micro-finance in rural areas of Nepal (Faire que chaque goutte compte ! La collecte des eaux de pluie et la microfinance dans les zones rurales du Népal).

Shakya, I., Shrestha, B. et Nakarmi, C., 2012. Micro-financing Rainwater Harvesting in Nepal: Modality and Challenges (Microfinancement de la collecte des eaux de pluie au Népal : Modalité et défis). Document de séance de la convention au Bangladesh sur la collecte des eaux de pluie, du 15 au 17 juin 2012.

6 Observations finales

La photo en couverture - correspondant à l'une des premières banques d'affaire en Chine - montre une pièce de monnaie avec 100 rivières coulant en direction d'un puits. Cette pièce symbolise ainsi les avantages et la sécurité pouvant émaner d'un stockage approprié et d'une réserve sécuritaire permettant d'investir, mais également de surmonter une sécheresse. On observe aujourd'hui un large éventail de mesures liées à la recharge, la retenue et la réutilisation - les études de cas et les chapitres précédents montrent clairement cette variété. Il existe d'une certaine façon, dans chaque région, de nombreuses banques et de nombreux mécanismes de crédit.

Les différentes études de cas présentées dans les chapitres précédents démontrent, chacune à leur manière, les avantages pouvant être tirés du stockage et la plus grande sécurité qu'il apporte. Le financement provient souvent du propre investissement des utilisateurs des terres, ou des programmes publics. Il existe pourtant une variété de nouveaux mécanismes de financement - des investissements partagés, des programmes spéciaux de crédit et le paiement de services des bassins versants. En outre, dans certains cas, la mise en réserve de l'eau peut provoquer des effets secondaires, tels que la perturbation des écoulements. Pour créer des zones tampons plus sûres, il est donc important non seulement de promouvoir et d'explorer les interventions 3R, mais également de développer davantage de mécanismes par lesquels ces interventions seront appuyées et soutenues financièrement. Bien que les exemples dans cet ouvrage offrent une analyse de rentabilisation, il devient nécessaire de soutenir la présence de plus « d'entrepreneurs environnementaux » et d'une variété de lignes de crédit, afin de déployer la gestion de zones tampons à grande échelle.



Figure 45. 'L'étang d'infiltration Hout dans la zone désertique de Kassala (Soudan): ceci est un exemple de A2. Le village du désert de Weger dépend entièrement sur les puits alimentés par l'étang d'infiltration qui se recharge chaque année avec les eaux de crue de la rivière Gash). Les puits se trouvent dans le milieu de l'étang (Photo: Abraham Haile Mehari).



Figure 46. Collecte des eaux de ruissellement du réseau routier dans une citerne (Yémen) - le premier flot est rejeté car il est contaminé (Photo : Mohammed Al Abayad)

Annexe I Aperçu de la classification des techniques des 3R

Méthode de retenue	Méthode de recharge	Mesures typiques	Synonymes / mesures comparables
A. Stockage des eaux souterraines	1. Réduction du ruissellement :	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltration induite par le lit de la rivière • Colmatage des ravines • Barrages de sable • Barrages de recharge 	<ul style="list-style-type: none"> • Modification du canal du cours d'eau, maintenant le lits de rivières • Petits barrages ou seuils • Barrages souterrains, gabions, barrages en cascade (= plusieurs barrages de sable) • Barrages de retenue, barrages de rétention (eaux souterraines)
	2. Infiltration induite par la surface terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Étangs d'infiltration • Irrigation par épandage • Fossés et drains/ rigoles • Reboisement en amont 	<ul style="list-style-type: none"> • Bassins de recharge, étangs d'infiltration, cuves d'infiltration, fosse de recharge • Sur-irrigation, inondations, irrigation par épandage
	3. Infiltration directe dans l'aquifère	<ul style="list-style-type: none"> • Puits • Infiltration induite des berges 	<ul style="list-style-type: none"> • Puits creusé, puits peu profond, puits profond ; Stockage et la récupération de l'aquifère (ASR) -AS-TR • Infiltration induite des berges, systèmes d'infiltration d'eau de surface

Méthode de retenue	Méthode de recharge	Mesures typiques	Synonymes / mesures comparables
B. Stockage de l'humidité du sol dans la zone racinaire	1. Réduction des écoulements	<ul style="list-style-type: none"> • Terrassement • Diguettes • Drainage contrôlé 	<ul style="list-style-type: none"> • Tranchées de niveau, barrières, bandes enherbées, fosses de plantation, diguettes semi-circulaires/demi-lunes
	2. Infiltration induite par la surface terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des sols • Irrigation par épandage 	<ul style="list-style-type: none"> • Maturité, labour profond, méthodes culturales de conservation du sol • Sur-irrigation, inondations, irrigation par épandage, épandage de crue
	3. Réduction de l'évaporation	<ul style="list-style-type: none"> • Paillage 	
C. Stockage fermé de l'eau en surface	1. Collecte des eaux de pluie	<ul style="list-style-type: none"> • Gouttière et cuve 	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte sur le toit, cuves (hors sol, souterraine), citernes et réservoirs
	2. Collecte de la brume	<ul style="list-style-type: none"> • Ecran anti-brume et cuve 	
D. Stockage ouvert de l'eau en surface	1. Stockage dans le cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Barrage de retenue 	<ul style="list-style-type: none"> • Barrages, barrages de retenue (eau libre), structures de rétention
	2. Stockage à l'échelle du bassin versant	<ul style="list-style-type: none"> • Etang de stockage 	<ul style="list-style-type: none"> • Bassin de rétention, rétention de l'eau au moyen de «joutes de singe»

Annexe II L'approche en deux étapes vers la mise en œuvre de techniques de 3R

Quelle technique 3R, ou combinaison de techniques 3R, est la plus efficace dépend à la fois de la physique et du contexte socio-économique. Pour un projet népalaise une approche par étape est formulé, dans lequel les différentes phases sont distinguées pour refléter les nécessités locales dans la sélection de les techniques 3R les plus appropriées et leur mise en œuvre. Dans l'approche par étapes il est fondamental que tant les caractéristiques biophysiques du paysage (figure A2.2a) que les préférences et capacités locales (figure A2.2b) soient prises en considération dans le choix des techniques.

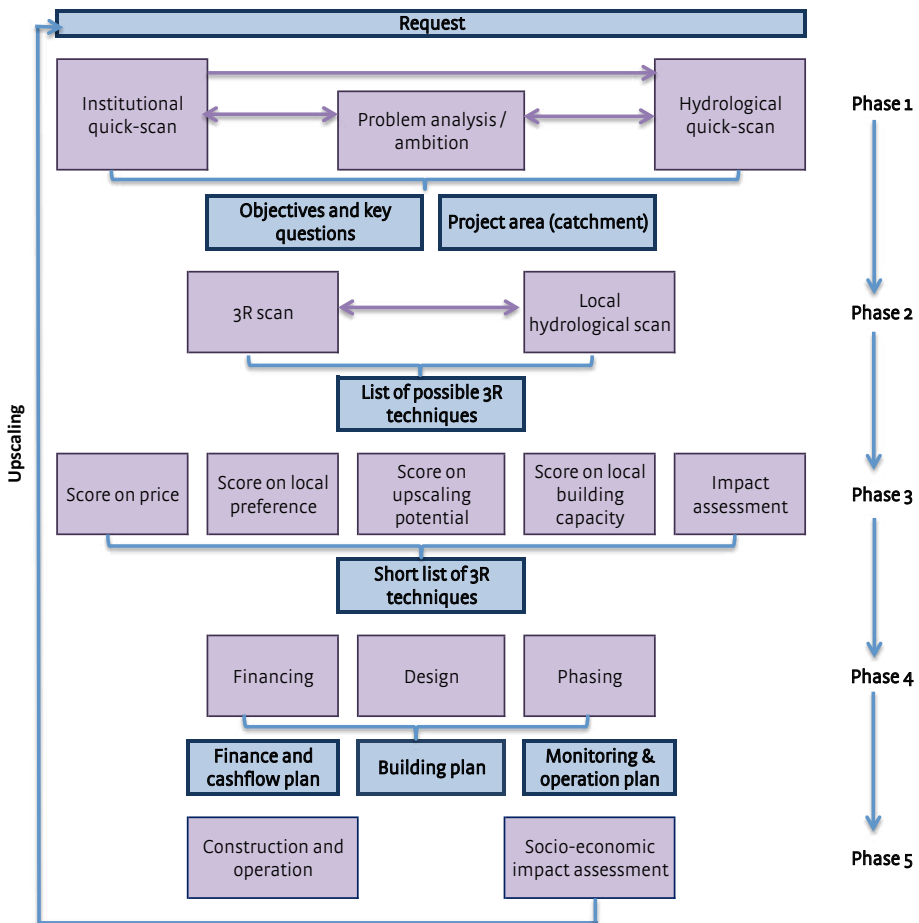




Figure A2.2 Landscape (a) and discussion with villagers (b) in the Salyan district, Nepal (source: Acacia Water)

Annexe III Comparaison sélective des coûts et bénéfices pour chaque étude de cas

Table 25. Comparaison sélective des coûts et bénéfices pour chaque étude de cas

# Etudes de cas	Mise en œuvre		Avantages pour l'utilisateur		Résilience
	Coûts	sur-site	a l'échelle du cours d'eau	en dehors du bassin versant	protection face à la sécheresse
1 Barrages de sable Kitui, Kenya	Par barrage: 2500 dollars US/an	25 foyers, eau potable agriculture, industrie, 125 dollars US/an/foyer	Augmentation du niveau des eaux souterraines	Plus de denrées alimentaires sur le marché	++
2 Barrages de retenue en forêt Pasak Ngam, Thaïlande	Par barrage: de 17 à 167 dollars US/an	102 foyers, bétail, agriculture	Produits issus de la forêt	Restitution de la biodiversité et de la reforestation	++
3 Karez améliorés Qila Iskan Khan, Pakistan	Karez améliorés : 25 000 dollars US	82 foyers, agriculture, 130 000 dollars US/an	Retour des populations dans les zones rurales	Plus de denrées alimentaires sur le marché	++
4 Approvisionnement en eau à travers une gestion des systèmes de recharge des aquifères Régions centres de la Namibie	Par m ³ d'eau : 0,68 dollars US	Ville de Windhoek, eau potable et industrie	Report des coûts et interconnexion env. indésirable de la rivière	Possible de continuer le développement économique de Windhoek	++
5 Création de bulles d'eau douce dans les eaux souterraines saumâtres Bangladesh	Par système d'infiltration: 7 500 dollars US	250 personnes, eau potable			++
6 Stockage d'eau douce dans les zones ayant des eaux souterraines salines Tajamars, Chaco, Paraguay	Par tamar: 20 000 euros	60 foyers, 400 personnes, eau potable à 0,10 euros/m ³ , bétail et agriculture	Augmentation de production secondaire	Plus de denrées alimentaires sur le marché, amélioration du marché du travail	++
7 Conservation d'eau douce avec drainage contrôlé Pays-Bas	Par ha : 600 à 4 000 euros	Agriculture		Réduit la demande en eau extérieure	++

# Etudes de cas	Mise en œuvre		Avantages pour l'utilisateur		Résilience
	Coûts	sur-site	a l'échelle du cours d'eau	en dehors du bassin versant	protection face à la sécheresse
8 Recharge et fertilité des sols grâce au colmatage des ravines et l'utilisation de diguettes Terai, Inde	Par ha: 90 dollars US	Agriculture 250 dollars US/an/foyer	Stabilisation de la baisse précédente du niveau des eaux	Plus de denrées alimentaires sur le marché	+
9 Écologisation des paysages semi-arides - Barrages déversant Région du Sahel	Par barrage: 18 000 à 55 000 euros	Agriculture, bétail, 40 000 euros par barrage/an	Augmentation du niveau des eaux, pêche, disponibilité du fourrage	Plus de denrées alimentaires sur le marché, augmentation de la végétation naturelle	++
10 Paillis de plastique (Biodégradable) Chine, Inde et États-Unis	Par ha: 252 à 722 dollars US + enlèvement du paillage en plastique 250 dollars US	Agriculture, augmentation de 50 à 500% du rendement cultural		Plus de denrées alimentaires sur le marché	+
11 Conservation des sols et de l'eau à grande échelle Tigré, Éthiopie				Reboisement	
12 Réservoirs de collecte d'eau de pluie Amhara, Éthiopie	Par cuve: 290 dollars US (10 ans) 1563 dollars US (25 ans)	1 foyer, agriculture, 150 dollars US/an		Augmentation de la végétation naturelle	0
13 Mise en réserve de l'eau de source et en haute altitude Andes, Pérou	Par barrage : 36 000 dollars US	5 ha, Agriculture	Écologisation et alimentation du bétail proche des barrages	Plus de denrées alimentaires sur le marché, restauration des zones humides de haute-altitude	+
14 Récolte de l'eau de pluie sur les toits Népal	Par cuve de 1 m ³ : 25 dollars US	1 foyer, eau potable, biocarburant, bétail, potager		Reduction de la déforestation après l'introduction du biocarburants	0

Annexe IV Impacts de la sécheresse dévastatrice du Kenya, en 2000

Usages	Impact
Eau potable	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la disponibilité de l'eau potable en milieu urbain - le volume d'eau fourni à Nairobi à partir des réservoirs de stockage a diminué de 55% • Approvisionnement en eau en milieu rural - la distance jusqu'au point d'eau a augmenté de 3 km (dans les zones à haut potentiel) à 20 km (dans les terres arides et semi-arides) • De longues files d'attente pour l'eau et plus de danger, en raison des distances plus longues à parcourir dans des zones en proie à de l'insécurité. Par exemple, des attaques de hyènes sur des gens ont été signalées sur le chemin menant au point d'eau • Détérioration de la qualité de l'eau potable en raison du sur-pompage des forages le long de la côte, entraînant l'intrusion d'eaux saumâtres; le creusement de puits peu profonds supplémentaires dans les zones urbaines a engendré des risques de pollution liés aux latrines • Les animaux et les populations partageaient la même source d'eau ; et les effluents provenant de plus de 2000 usines de café au Kenya ne pouvait pas être dilués ; les étangs d'oxydation des eaux usées ne fonctionnaient pas correctement en raison de faibles débits • Coût de l'eau multiplié par quatre dans les zones urbaines et rurales
Production d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Deux des cinq centrales hydroélectriques ont été fermées • Rationnement sévère de l'énergie, ayant entraîné la fermeture d'entreprises et la perte induite d'emplois • Le rationnement a été calculé à 2 millions de dollars en perte d'occasion par jour
Productivité des sols	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation de la productivité du sol en raison de son assèchement, de la perte de nutriments, de la diminution de la couverture du sol et de l'impact accru de l'élevage, d'une plus grande érosion éolienne et d'une érosion provoquée par les eaux de ruissellement • La destruction de la couverture du sol a provoqué le compactage et a favorisé l'invasion d'espèces d'arbustes indésirables. Le compactage des sols, l'étanchéité et la formation de croûte de battance a entravé l'émergence des semis
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune récolte dans plusieurs provinces • La récolte nationale de maïs est estimée avoir diminué de 36% en 2000, et la production de blé de 50%, la production de café et de thé est estimée avoir diminué de 30 à 40%

Usages	Impact
Forêts	<ul style="list-style-type: none"> • Accroissement du nombre de feux de forêt, provoqué par l'assèchement de la biomasse • Ralentissement des programmes de reboisement • Augmentation de l'usage du charbon de bois à des fins commerciales, en raison du manque de filières alternatives • Pâturage du bétail - les pâturages ayant diminué, les éleveurs se sont tournés vers les forêts à la recherche de fourrage. La plupart des forêts classées ont été touchées
Zones humides	<ul style="list-style-type: none"> • Conversion de terres arables ; les marécages les plus touchés ont été ceux qui ont été asséchés et utilisés comme terres arables par les agriculteurs • La culture extensive dans la vallée fluviale et dans les marécages était fortement utilisée dans les provinces de Embu, Kirinyage, Meru central, Meru South et Murang'a, en particulier pour la production de légumes
Élevage	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la production de fourrage de 60% • Les bovins ont migré vers des altitudes plus élevées (par exemple sur le Mt. Kenya, Nyeri) et sont morts de maladies liées à la haute altitude, comme la pneumonie. • Les grands troupeaux arrivant ont apporté des parasites et des maladies • Dans la partie nord et nord-est du Kenya, des pertes de bétail de l'ordre de 20 à 85% ont été signalées • Les animaux nouveau-nés ont été abattus pour faire face à la sécheresse, afin de permettre à leurs mères de survivre • Il a été estimé qu'il faudra 5 à 8 ans pour le repeuplement • Les prix du bétail ont diminué de 50 à 75% en raison des ventes forcées. • La production de lait a diminué de 75% • Les effets de la sécheresse sur le lait sont exacerbés par l'effondrement des coopératives laitières ; dû aux difficultés liées au marketing
Pêches	<ul style="list-style-type: none"> • De nombreux cours d'eau et barrages asséchés, anéantissant des populations entières de poissons. D'autres ont vu leurs population de poissons se réduire considérablement à cause du faible volume d'eau • La diminution des volumes d'eau et l'augmentation de la température de l'eau dans les cours d'eau ont réduit les espèces d'eaux froides, telles que la truite.
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Le taux de croissance du PIB a chuté de 1,4% en 1999 à 0,7% pour la même période, en 2000 • L'inflation a augmenté de 7,6% à 9,8% sur douze mois, entre août 1991 et août 2000. • Le déficit du compte courant extérieur est passé de 4,6% à 7,6% en 2000

Source: PNUE et Gouvernement du Kenya (2000). Devastating Drought in Kenya: Environmental Impacts and responses (Sécheresse dévastatrice au Kenya : les impacts et les mesures environnementales). Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), à Nairobi, au Kenya

CROYEZ DANS LES ZONES TAMPON. VOUS ÊTES PARFOIS
ASSIS SUR UNE SOLUTION SANS MÊME LE SAVOIR...

