

# La gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique

Recharge, retenue et réutilisation des eaux souterraines  
et stockage des eaux de pluie

# Remerciements

Les principaux auteurs de la présente publication sont Frank van Steenbergen et Albert Tuinhof.

Nous remercions également pour leur précieuse contribution :

Martin van Beusekom, Simon Chevalking, Greg Christelis, Remko van Diepen, Peter Dillon, Raimond Hafkenscheid, Friedrich Hetzel, Nawal El Haouari, Thomas Himmelsbach, Merel Hoogmoed, Basja Jantowski, Lenneke Knoop, Armin Margane, Robert Meerman, Ben van der Merve, Sander Nederveen, Kirsten Neke, Erik Nissen-Petersen, Alex Oduor, John Ratsey, Kerstin Schaberreiter, Henk van Schaik, Gerhard Schmidt, Ard Schoemaker, Willi Struckmeier, Vanessa Vaessen, Michael van der Valk, Sara Vassolo et Olaf Verheijen.

L'édition du texte a été coordonnée par Michael van der Valk. La couverture a été conçue par Vincent Wijers.

Les illustrations et les infographiques ont été réalisés par Robert Jan van Noort et Wiltze Valkema of Pankra. Grafisch Service Centrum Wageningen a assuré l'impression de l'ouvrage.

La réalisation de cet ouvrage a été rendue possible grâce aux généreuses contributions de l'Institut fédéral de géosciences et de ressources naturelles (BGR), du Programme coopératif sur l'eau et le climat (CPWC), de l'UNESCO et du Comité national néerlandais pour le PHI/PHRE, ce dernier apportant la contribution des Pays-Bas à la phase VII du Programme hydrologique international (PHI) de l'UNESCO.



# Préface

## Préface à la troisième édition

En adoptant, en 2009, la Déclaration de Charm El Cheikh, les chefs d'État africains ont envoyé au monde un message clair. Nous devons accélérer nos efforts en vue de fournir à tous les Africains de l'eau potable et l'accès aux services d'assainissement de base dont ils ont besoin et de gérer les ressources en eau du continent africain de manière durable.

L'Afrique s'est exprimée d'une voix unique et prend désormais en charge la responsabilité de son avenir. Nous invitons par conséquent nos amis et partenaires à aligner leur soutien sur la Vision africaine pour 2025.

Il est plus qu'urgent d'agir. Je suis donc heureux de tenir dans mes mains ce très intéressant ouvrage, qui montre et explique de manière claire et précise; les voies permettant d'accroître nos capacités de résistance aux effets du changement climatique.

La deuxième édition fut épuisée en moins d'un an ! Cela témoigne une fois encore de la volonté du monde de chercher des solutions applicables, alors que l'on ignore encore en partie les effets possibles du changement climatique sur les différentes régions du monde.

Nous n'avons plus le temps d'attendre!

La crise de l'eau à laquelle le monde est aujourd'hui confronté va frapper l'Afrique de manière particulièrement puissante. Afin de ne pas risquer de détruire cette précieuse ressource, si essentielle à la vie, nous devons la gérer de manière durable.

Les solutions existent et ce livret en présente quelques-unes, de manière simple et concise. Une gestion intelligente des réserves d'eau avec une approche et une vision économique, écologique et sociale devrait être bénéfique à toutes les parties.

Non seulement aux populations locales, mais également aux États riverains des eaux transfrontalières et permettre, sur le long terme, de prévenir la survenance de conflits nationaux ou internationaux.

Les conférences, et réunions qui ont abordé ce sujet ont été nombreuses. Aujourd'hui, notre tâche consiste en l'intensification des bonnes pratiques, afin de pouvoir s'orienter vers une gestion durable des ressources en eau.

Il n'est pas facile pour les décideurs de gérer l'incertitude quand les scientifiques leur déclarent qu'ils ne disposent pas de données suffisantes pour élaborer des scénarios et des modèles informatiques qui leur permettraient de faire des prévisions précises sur l'évolution du climat dans vingt ans. Face à cet enjeu, il est donc urgent d'identifier des solutions viables le plus rapidement possible. Cette responsabilité nous incombe, non seulement à l'égard des générations futures, mais aussi à l'égard des populations actuelles, dont les bonnes conditions de vie dépendent largement d'une bonne gestion des ressources d'eau. La Commission africaine des eaux souterraines ayant

reçu un mandat officiel lors de la 2<sup>e</sup> Semaine africaine de l'eau qui s'est tenue l'année dernière à Johannesburg. Nous devrions profiter de l'impulsion ainsi donnée pour promouvoir cette pratique auprès des réseaux politiques concernés sur le continent africain. Cette pratique, devrait également être intégrée comme outil dans les programmes des universités (par exemple des cours de troisième cycle), afin de favoriser un renforcement stratégique des capacités d'experts techniques locaux utilisant le concept des 3R pour l'adaptation au changement climatique, la prévention des conflits et la sécurité alimentaire.

L'Afrique s'est exprimée! Je lance un appel pour que tous s'engagent à agir.



Bai Mass Taal, Secrétaire général de l'AMCOW, 2010

J'espère que le lecteur trouvera dans les différentes études de cas présentées dans cet ouvrage des sources d'inspiration et prendra des mesures pour favoriser le stockage de l'eau.

## Préface à la deuxième édition

Moins de trois mois après le lancement du livret « La gestion de l'eau comme tampon » pendant la Semaine mondiale de l'eau 2009 à Stockholm, nous sommes en mesure de vous présenter la deuxième édition. Personne ne s'attendait à une demande si importante. C'est pour moi un grand honneur d'en rédiger la préface. Je voudrais saisir cette occasion pour répondre à quelques-unes des questions qui nous ont été le plus fréquemment posées au cours des derniers mois sur ce concept de 3R.

### **Cette formule si innovante des 3R – représentant les trois volets recharge, retenue, réutilisation – est-elle si nouvelle?**

Non, absolument pas. Vous avez sans doute déjà mis en œuvre une partie de la démarche 3R, en améliorant la fertilité du sol et donc sa capacité à servir de catalyseur, ou bien en collectant l'eau de pluie pour arroser les belles fleurs de votre jardin.

### **Alors, si ce concept des 3R n'est pas nouveau, pourquoi en parler tant?**

Parce qu'il est nouveau!

L'innovation réside ici dans la combinaison de plusieurs stratégies! Il s'agit de préserver le cycle de l'eau, de stocker l'eau et de gérer les réserves en eau qui se trouvent juste sous vos pieds.

### **Pourquoi faut-il avoir des réserves en eau souterraines? L'objectif du présent ouvrage n'est pas de traiter des grands barrages hydroélectriques. Il est vrai que ceux-ci peuvent stocker des quantités d'eau énormes.**

Néanmoins, la construction de tels barrages et réservoirs a souvent d'importantes conséquences sur l'environnement social et écologique. Dans la phase d'exploitation, les réservoirs sont en effet soumis à d'importants phénomènes d'évaporation et d'envasement.

Cet ouvrage a pour objet central de traiter la question des réserves en eau locales, cachées et invisibles – qu'elles soient souterraines ou stockées dans de petites installations de surface – qui,

pour ces raisons, ne sont que rarement prises en compte dans la planification des organisations, des administrations ou des gouvernements.

Cela est surprenant, car dans certaines régions du monde, le développement dépend totalement de la bonne ou mauvaise gestion des zones tampons situées dans le sous-sol (eaux souterraines).

Quel est le lien entre les 3R et la recharge naturelle? La recharge naturelle provient des eaux de pluie et de leur infiltration dans le sol. Les 3R aident la nature et permettent d'augmenter la recharge naturelle en transportant le surplus des eaux de surface dans le sous-sol et en le stockant dans un endroit généralement à l'abri de la pollution, d'où il peut être à nouveau pompé lors de la saison sèche. Cela paraît simple, mais ce sont les détails qui posent problème. Découvrez pourquoi dans les chapitres qui suivent et consultez les passionnantes études de cas que nous avons souhaité vous y présenter!

### **L'approche 3R a-t-elle des effets sur l'environnement? Les 3R ne concernent pas uniquement la recharge artificielle des tampons souterrains. L'objectif essentiel est de préserver le cycle de l'eau en veillant à ne pas perdre une partie des ressources en eau.**

Cependant, la restauration des écosystèmes, la protection de la biodiversité et des galeries forestières en bordure des rivières ainsi que la reforestation font aussi partie des objectifs de l'approche 3R.

Son message est clair: il faut procéder à la retenue des eaux pendant les inondations; stocker l'eau, mais en veillant à éviter les pertes; et la réutiliser chaque fois que cela est possible et faisable.

Où peut-on appliquer cette approche 3R? Une bonne gestion de l'eau est nécessaire partout. Par conséquent, les 3R sont applicables dans le monde entier, d'autant que dans les pays où les ressources en eau sont gérées de manière satisfaisante, il existe déjà des voies d'amélioration.

En Europe, en Afrique, en Asie ou ailleurs, il faudra faire face aux effets du changement climatique et de l'insécurité alimentaire.

Par conséquent, les dirigeants politiques doivent trouver des stratégies qui permettront d'améliorer les capacités de résistance de la région dont ils ont la responsabilité.

### **Les 3R sont-ils différents de la GIR? GIRE: gestion intégrée des ressources en eau. La gestion d'un bassin hydrographique constitue un grand défi. Les 3R fournissent des outils facilitant cette gestion, et il convient de noter qu'à une échelle locale, les interventions sont souvent assez simples et peuvent être effectuées en y intégrant une large participation de la population locale.**

Si ces interventions, composées d'un ensemble de petites mesures, sont bien conçues – c'est-à-dire que la mise en œuvre des 3R est envisagée dans le cadre d'une approche intégrée – elles peuvent améliorer la gestion des réserves en eau d'un bassin entier. Par conséquent, cette approche est parfaitement adaptée au concept de Gestion Intégrée des Ressources en Eau. En réalité, les 3R ont pour objet de mettre en pratique la GIRE. Être ou ne pas être innovant, là n'est pas la question!

Il convient de résoudre les questions liées à la crise alimentaire et au changement climatique, et c'est précisément ce que à quoi s'emploie la gestion des réserves en eau, des « tampons ». Vous ne le regretterez pas!

Agissez dès aujourd'hui. Mais tout d'abord, je vous invite à lire le présent ouvrage, en espérant que vous l'apprécierez!

Dr. Friedrich Hetzel

Conseiller technique principal du BMZ (Ministère fédéral de la Coopération économique et du Développement)

## Préface à la première édition

Des études scientifiques ont montré que le changement climatique constitue une menace mondiale grave à laquelle il est urgent d'apporter des réponses, au niveau mondial ; régional et local. Même avec des niveaux modérés de réchauffement, tous les éléments de preuve – allant des études détaillées portant sur les effets régionaux et sectoriels du changement des conditions climatiques jusqu'aux modèles économiques décrivant les effets mondiaux d'une telle évolution – mettent en évidence les points suivants :

Les sérieux impacts sur l'environnement, la vie humaine et économique. Tous les pays seront affectés. Malheureusement, la population des pays les plus pauvres, qui est aussi la plus vulnérable, sera touchée plus tôt et plus gravement. L'adaptation au changement climatique est donc essentielle et il convient de toute urgence de prendre des mesures pour accroître la résistance à cette menace, optimiser les réserves en eau et minimiser les coûts. Il est fondamental d'optimiser l'utilisation des solutions de stockage fournies tant par les eaux souterraines que par les eaux de surface.

Le Programme hydrologique international (PHI) de l'UNESCO vise à contribuer à la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) de l'ONU concernant la durabilité environnementale, l'approvisionnement en eau, l'assainissement, la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté. La mission de ce programme est de renforcer la compréhension scientifique des impacts des variations et du changement climatiques sur les systèmes hydrauliques et d'opérer un lien entre ces conclusions scientifiques et les politiques qui visent à promouvoir une gestion durable des ressources hydriques. Une attention particulière est apportée au développement des régions particulièrement vulnérables au changement climatique, dont les conséquences sont susceptibles d'y avoir de très graves effets, tant sur le plan social qu'environnemental. Les activités du Programme hydrologique international ayant trait aux eaux souterraines incluent les éléments suivants : évaluation de l'impact du changement climatique sur les ressources en eaux souterraines et soutien aux États membres ; amélioration de la compréhension du rôle des eaux souterraines dans le cycle global de l'eau et des changements à apporter ; évaluation des ressources en eau souterraines, compte tenu de la pression démographique et du développement des différentes économies et des effets du réchauffement planétaire sur la recharge, le niveau des mers et l'infiltration d'eau de mer ; sensibilisation des décideurs, des responsables de la mise en œuvre, des utilisateurs et du public sur la nécessité de stocker de l'eau douce.

L'Association internationale des hydrogéologues (AIH) coopère depuis longtemps avec le Programme hydrologique de l'UNESCO. L'AIH – organisation internationale s'adressant aux scientifiques, aux ingénieurs et aux autres professionnels travaillant dans les domaines de la planification, de la gestion et de la protection des ressources en eau souterraines – a pour objet d'améliorer la compréhension et la gestion des eaux souterraines à l'échelle de la planète. L'AIH se fonde sur les recherches, les connaissances, l'expertise et l'enthousiasme de ses membres pour promouvoir l'idée qu'une gestion professionnelle des eaux souterraines fait partie d'une gestion intégrée des ressources en eau.

L'UNESCO et l'AIH travaillent conjointement pour tenter d'attirer l'attention d'un plus large public sur les techniques des meilleures pratiques utilisées dans la gestion de la recharge des

aquifères (MAR). La plupart de ces techniques présentent des solutions économiquement viables et respectueuses de l'environnement, permettant de mieux profiter des possibilités locales de stockage des eaux.

La présente publication qui traite de l'approche 3R – Recharge, Retenue et Réutilisation de l'eau ; met plus particulièrement l'accent sur la gestion des fonctions tampons comme faisant partie de la gestion intégrée des bassins et de l'adaptation au changement climatique. Les bénéfices d'une action rapide et énergique dépassant de loin les coûts économiques de l'inaction, on peut comparer une gestion appropriée des eaux souterraines à un investissement judicieux. Il s'agit de gérer les stocks en profitant des opportunités économiques, de recharger le compte dans des périodes fastes et de puiser dans ses réserves lorsque les eaux de surface se raréfient. De plus, il subsiste en matière de collecte locale des eaux de pluie tout un ensemble complémentaire d'opportunités inexploitées. C'est pourquoi nous nous réjouissons des initiatives 3R prises par MetaMeta, Acacia Water, la fondation RAIN et le BGR.

Nous recommandons vivement la lecture de cette publication à tous les gestionnaires des eaux de surface et des eaux souterraines !

Dr. Willi Struckmeier

Drs. Michael R. Van der Valk

Président, IAH

Secrétaire scientifique, Comité national néerlandais du PHI-PHRE

Gestion de l'eau comme tampon pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique  
*Recharge, rétention et réutilisation des eaux souterraines et stockage des eaux de pluie*

Préface

<b>1</b>	<b>Introduction : Aperçu de l'approche 3R</b>	
1.1	Les 3R : Recharge, retenue et réutilisation de l'eau	10
1.2	Les réservoirs tampons	11
1.3	Les facteurs liés au changement climatique	12
1.4	Assurer la mise en œuvre de l'approche 3R	13
<b>2</b>	<b>Contexte des 3R</b>	
2.1	Gestion des tampons locaux pour le développement et l'adaptation au changement climatique	15
2.2	Les techniques 3R	18
2.3	Les processus 3R	24
<b>3</b>	<b>Études de cas</b>	
3.1	Étangs d'infiltration aménagés dans les dunes d'Atlantis, Afrique du Sud	29
3.2	Infiltration des rives à petite échelle, Bangladesh, Inde	35
3.3	Recharge artificielle des eaux souterraines et zones de protection dans les zones semi-arides, barrage de Wadi Wala, Jordanie	40
3.4	Fourniture d'eau potable dans les zones ayant des eaux souterraines salines, Chaco, Paraguay	45
3.5	Barrages de sable de Kitui, Kenya	49
3.6	Utilisation des crues pour l'irrigation et la recharge, Yémen	56
3.7	Détournement des crues de courte durée vers les bassins d'infiltration dans les zones très arides, Niger	60
3.8	Recherche d'alternatives à l'extraction du sable du lit des rivières	63
3.9	Barrages souterrains - interception des eaux souterraines pour le stockage, Brésil	68
3.10	Retenue de l'eau dans des zones très humides, nord du Bengale, Inde	72
3.11	"Banque de l'eau" créée avec le surplus des eaux de surface, Namibie	76
3.12	Barrages de retenue des eaux de surface en haute altitude, Pérou	78
3.13	Collecte des eaux de pluie dans des zones arides, Afrique subsaharienne	81
3.14	Collecte de l'eau de source, Tanzanie	85

3.15	Récupération des eaux de pluie dans des zones touchées par la salinisation, Sénégal	88
3.16	Les multiples aspects des eaux de pluie, Népal	92
3.17	Drainage contrôlé, Pays-Bas	96
3.18	Utilisation conjointe des eaux souterraines et des eaux de surface pour l'irrigation à grande échelle, Maroc	100
3.19	Optimiser les infrastructures routières pour la recharge la retenue et la réutilisation, Kenya, Chine, Brésil	104

<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>110</b>
----------	-------------------	------------

# 1. Introduction: aperçu de l'approche 3R

## 1.1 Les 3R : recharge, rétention et réutilisation de l'eau

Le présent ouvrage explique comment optimiser l'utilisation des eaux souterraines et des eaux de pluie pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique dans le cadre d'une approche dite 3R.

La vision inhérente aux 3R consiste à donner aux populations les moyens et la confiance nécessaires pour pouvoir protéger leurs moyens d'existence face aux changements climatiques et améliorer la gestion locale de l'eau en vue de s'assurer un accès fiable à l'eau et de favoriser le développement économique tout en préservant l'intégrité de leur environnement. L'expression 3R signifie recharge, retenue et réutilisation.

Le présent livret s'adresse aux responsables de l'aménagement du territoire et aux gestionnaires des bassins hydrographiques, ainsi que à tous ceux concernés par la gestion de l'eau et le changement climatique.

Qu'ils travaillent dans des organismes publics, des services de distribution d'eau, des agences d'irrigation, des compagnies d'assurances ou des sociétés d'investissement, dans le secteur privé ou dans la société civile, et quelle que soit la zone – aride ou humide – dans laquelle ils se trouvent.

La fonction tampon existant dans une région constitue le point de départ de cette approche: c'est elle qui permet de gérer les périodes de débit de pointe et les périodes d'étiage et qui permettra de faire face aux fortes variations que devraient connaître un grand nombre de régions en raison du changement climatique.

À cet égard, une importante réserve d'eau est celle constituée par le stockage d'eau dans les couches supérieures du sol et dans les aquifères peu profonds.

En de nombreux endroits, ces réservoirs d'eau souterrains peuvent être utilisés pour stocker les eaux de pluie et de ruissellement, augmentées par l'eau provenant des rivières et de l'irrigation, ce qui permet de puiser à nouveau l'eau et de la réutiliser.

Venant s'ajouter aux réserves souterraines, le stockage local de l'eau de surface complète les réserves en eau d'une région, par exemple en collectant et stockant les eaux de pluie dans des citernes et dans des réservoirs locaux.

Une bonne gestion des réserves en eau, de ces « tampons », au niveau local revêt une importance capitale.

C'est d'elle en effet que dépendent les moyens d'existence de la population et la situation économique de la région. La philosophie qui sous-tend ce livret vise à optimiser la gestion de cette fonction tampon, en passant par trois étapes – Recharge, Retenue et Réutilisation – représentées par l'expression 3R. L'idée générale est que lorsque l'on doit gérer une crise de l'eau locale, il ne s'agit



Recharge



Retenue



Réutilisation

pas tant de répartir des réserves en eau rares, mais plutôt de collecter l'eau et d'étendre la chaîne d'utilisation de l'eau et sa réutilisation autant que possible au sein du bassin, en prenant en compte l'ensemble des personnes concernées et leur environnement sur un ensemble de bassins.

## 1.2 Les réservoirs tampons

Le présent ouvrage accorde une place centrale à la gestion des fonctions de réservoir de l'eau, tout en mettant l'accent sur les réserves d'eau souterraines et les petites installations locales de stockage d'eau de surface. Les nappes souterraines constituent déjà notre principal réservoir d'eau douce, stockant plus de 90 % des réserves mondiales, à l'exception de la glace (glace polaire et glaciers). L'eau douce (stockée dans les cours d'eau, les lacs, les grands réservoirs et celle contenue dans le sol humide), représente moins de 1 %.

On trouve des eaux souterraines pratiquement dans toutes les régions. Elles couvrent la moitié des besoins mondiaux en eau potable, aussi bien dans les zones rurales qu'urbaines, et proviennent de systèmes centralisés et individuels. Elles permettent notamment de répondre à 40 % des demandes de l'industrie et fournissent 20 % de l'eau nécessaire à l'agriculture, avec cependant de fortes variations entre les régions arides et les régions humides. Par ailleurs, ces eaux souterraines ont un important effet sur l'humidité du sol. Les niveaux supérieurs des nappes phréatiques fournissent une certaine sécurité aux agricultures pluviales en augmentant l'eau disponible en période de sécheresse. En rendant possibles des approvisionnements sur site, les réserves d'eau souterraines sont le moteur qui peut permettre de franchir des pas décisifs, tant dans le domaine de la production agricole que dans celui de l'approvisionnement en eau potable des régions éloignées de tout cours d'eau.

Les eaux souterraines représentent également une source d'eau essentielle pour les rivières, les lacs et les zones humides.

Le débat sur les eaux souterraines est souvent centré sur la sur-exploitation et le contrôle. Des thèmes effectivement très préoccupants dans de nombreuses régions. Le besoin évident d'une meilleure gestion des eaux souterraines devrait inclure les thèmes relatifs à la nécessité d'optimiser la recharge, de stocker les eaux de pluie lorsque cela est possible, de stocker l'eau provenant des inondations, de gérer les niveaux d'eau et d'assurer une qualité de l'eau qui permette sa réutilisation. Le stockage de l'eau, que l'on peut comparer à l'épargne bancaire, a constitué le

fondement du développement économique durable des nations.

Le stockage local des eaux de surface constitue un deuxième aspect important des réserves en eau. En particulier dans les zones où les eaux souterraines connaissent des problèmes de qualité, par exemple une salinité élevée, des teneurs élevées en arsenic et en fluor, ou sont difficiles d'accès, le stockage des eaux de pluie et de ruissellement dans des réservoirs de stockage locaux peut largement contribuer à fournir aux régions concernées une solution « tampon », grâce à de petites solutions locales facilement disponibles.

### 1.3 Les facteurs liés au changement climatique

Dans de nombreuses régions du monde, qu'il s'agisse de zones sèches ou humides, les fortes variations climatiques telles que nous les connaissons actuellement font de la Gestion Intégrée des ressources en Eau (GIRE) un défi majeur.

Chaque région requiert des concepts GIRE adaptés, tenant parfaitement compte tant des ressources naturelles dont elle dispose que des conditions socio-économiques qui la caractérisent.

Dans les pays dépendant des précipitations, on observe que dans de nombreuses régions, notamment dans une grande partie de l'Afrique sub-saharienne, le PIB (Produit intérieur brut) est directement lié aux précipitations annuelles (Figure 1).



Figure 1: Précipitations et PIB en Éthiopie, 1982-2000 (Source : Grey et Sadoff, 2006)

Le changement climatique va aggraver la vulnérabilité des pays, des régions et des ménages – et affaiblir leurs moyens d'existence – risquant de compromettre la situation économique et environnementale et de constituer une menace pour le développement, y compris pour la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le développement.

Les prévisions indiquent que les sécheresses devraient être plus prononcées et les précipitations plus violentes, ce dernier phénomène risquant de provoquer des inondations plus fortes et plus fréquentes.

Dans un tel contexte de changement, le stockage des eaux souterraines et la collecte des eaux de pluie sont susceptibles de constituer un remède utile. Pour pouvoir s'adapter au changement climatique, le fait de disposer d'une capacité accrue permettant d'absorber et de stocker l'eau apparaît donc comme étant un facteur clé.

Dans les régions humides, le changement climatique risquant de provoquer des moussons plus irrégulières, survenant plus tard et séparées par de plus longues périodes de sécheresse, va conduire à privilégier la gestion des eaux souterraines, la gestion du régime hydrique des sols et un nécessaire complément d'irrigation. Tant dans les zones arides qu'humides, la gestion des eaux souterraines et, d'une manière plus générale, celle des réserves en eau, occupent une place centrale dans l'adaptation au changement climatique.

### 1.4 Assurer la mise en œuvre de l'approche 3R

Le présent ouvrage est un appel à l'action qui a pour but de lancer une initiative 3R mondiale afin de promouvoir une gestion par bassin (et non plus fragmentaire) des réserves en eau. Il envisage l'adaptation au changement climatique en liaison avec la collecte des eaux de pluie et des eaux de crue et avec la gestion des eaux souterraines. Les 3R sont nécessaires tant dans les zones arides qu'humides pour adapter, soutenir et promouvoir une meilleure gestion des ressources en eau, afin d'assurer un approvisionnement en eau continu des personnes, des cultures et de l'environnement.

Dans le chapitre 2, vous trouverez de plus amples informations sur l'approche 3R, et en particulier sur la gestion des eaux souterraines et les solutions de stockage local. Y sont présentées les techniques utilisées pour gérer la recharge des aquifères, promouvoir la recharge et la retenue naturelles, la collecte des eaux de pluie et les processus 3R pour permettre le stockage de l'eau, à la lumière des défis posés par le changement climatique.

Le chapitre 3 du présent ouvrage présente des exemples d'applications 3R qui ont déjà été mises en œuvre et se sont révélées particulièrement efficaces. Ces études de cas proposent des conseils pratiques, expliquent les techniques utilisées pour le stockage des eaux souterraines, de l'eau contenue dans le sol et des eaux de pluie et montrent les résultats obtenus. Elles démontrent clairement que nombre d'objectifs utiles peuvent être atteints en déployant des efforts tout à fait gérables. L'utilisation des techniques 3R peut procurer d'importants bénéfices en termes de sécurité de l'eau, de développement et de durabilité des moyens d'existence.

L'infographie (Figure 2) présente une illustration graphique d'un bassin hypothétique et donne un aperçu des interventions techniques, qui sont des éléments 3R contribuant à améliorer la fonction de tampon des réservoirs d'eau dans l'ensemble du bassin ou au niveau d'un sous-bassin.

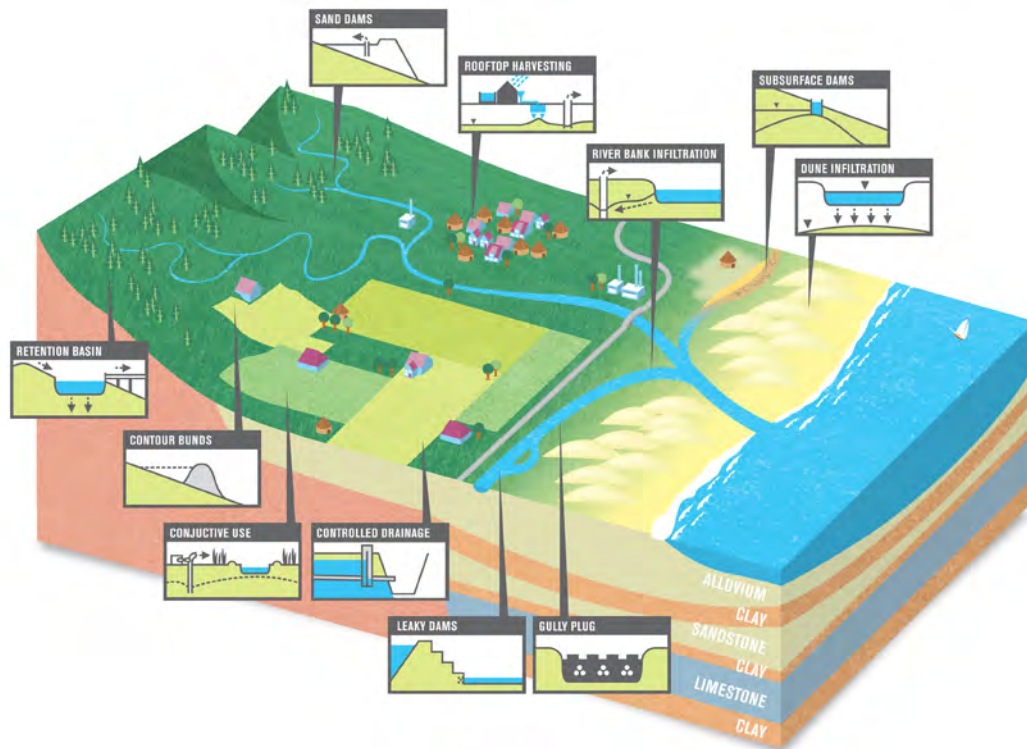


Figure 2 : Infographie illustrant des applications 3R dans un bassin hydrographique.

## 2. Contexte des 3R

### 2.1 Assurer la gestion des réservoirs tampons locaux pour favoriser le développement et l'adaptation au changement climatique

Il y a au moins quatre arguments qui plaident en faveur des 3 R:

- Adaptation au changement climatique en utilisant le stockage naturel
- Possibilité d'améliorer la qualité de l'eau
- Recirculation dans la chaîne de l'eau
- Fonctions de soutien pour les écosystèmes et l'agriculture

#### Adaptation au changement climatique en utilisant le stockage naturel

Le changement climatique devrait avoir des effets différents en fonction des régions du monde concernées (Encadré 1). Le stockage de l'eau joue un rôle essentiel dans l'adaptation à ces changements. C'est une composante clé qui permet de réduire le décalage dans le temps (pouvant aller d'une journée à une année) susceptible d'exister entre la demande d'eau et la mise à disposition des ressources en eau.

#### Encadré 1 : Prévisions relatives au changement climatique

Le changement climatique devrait modifier le cycle hydrologique. Le 4<sup>e</sup> Rapport d'évaluation du GIEC, qui présente les effets du changement climatique sur une base régionale, montre que ces effets seront différents en fonction des régions et des localités. Dans la région de la Méditerranée, par exemple, les précipitations devraient baisser en été de 5 à 20 % à l'horizon 2050-2100. Cela pourrait diminuer la moyenne des eaux de ruissellement de 40 % dans cette région déjà relativement sèche.

Les climats de mousson devraient connaître un plus grand nombre de crues éclairs, notamment dans les zones urbaines. Une fréquence accrue de précipitations intenses dans les zones de montagne augmentera le risque de survenance de glissements de terrain et de crues, de cyclones plus violents et d'épisodes prolongés de précipitations, et l'on observera des inondations dans les zones côtières et une diminution des débits et de la durée des flux en raison d'une baisse des précipitations à l'intérieur des terres. Ces changements relatifs au ruissellement affecteront également la qualité de l'eau (Ludwig et coll., 2009).

L'amélioration de la compréhension de ces phénomènes et des capacités prévisionnelles devrait permettre à l'avenir de disposer de prévisions et de perspectives plus précises sur les effets (quantitatifs et qualitatifs) du ruissellement.

Cependant, tous les signes montrent qu'il est grand temps d'agir. Des actions peuvent être entreprises à deux niveaux : le niveau des mesures dites « sans regret » (utiles dans tous les scénarios) et le niveau des mesures spécifiques concernant le climat. Les techniques 3R peuvent être qualifiées d'importantes mesures « sans regret ».



Utiliser les réservoirs tampons pour stocker l'eau présente de nombreux avantages. Les réserves en eau souterraines sont généralement disponibles au point d'utilisation souhaité (ou à proximité). Il en va de même du stockage dans le sous-sol.

Des pompes à eau manuelles permettant d'extraire l'eau souterraine fournissent à des millions de ménages un approvisionnement en eau fiable.

Cet accès local à l'eau permet d'alléger le fardeau des femmes qui, dans de nombreuses régions, étaient auparavant exposées à divers risques alors qu'elles devaient parcourir de longues distances avec leurs lourdes charges.

L'inconvénient du stockage de l'eau dans les aquifères, plutôt que dans des réservoirs en surface, réside dans le fait qu'il faut la pomper. Par ailleurs, il est possible que les aquifères – en fonction de leurs caractéristiques – se remplissent lentement par infiltration sur une zone relativement étendue.

#### Possibilités d'améliorer la qualité de l'eau

Le stockage en sous-sol présente divers avantages, notamment des pertes par évaporation limitées (voire inexistantes), une relative protection contre la pollution de l'eau et une amélioration de la qualité de l'eau.

Les solides en suspension sont absorbés par le sol, les températures sont modérées et après avoir séjourné suffisamment longtemps dans les aquifères chauds, un grand nombre de bactéries pathogènes, virus et micro-organismes unicellulaires (protozoaires) sont éliminés (Dillon et coll., 2009).

En outre, le sol peut réduire l'acidité, supprimer les composés inorganiques et organiques par absorption, et les processus tant chimiques que biologiques peuvent modifier et neutraliser les composés dangereux. De plus, le stockage souterrain des eaux de surface et les possibilités de purification potentielle liées à la collecte des eaux de pluie à l'endroit où elles tombent présentent l'avantage de fournir une source d'eau propre et salubre, ne nécessitant pas, du moins dans un premier temps, d'être purifiée.

#### Recirculation

Les gestionnaires des ressources en eau ont tendance à considérer les ressources en eau disponibles comme étant la somme des précipitations, des eaux de ruissellement et du stockage.

En conséquence, la gestion de l'eau se limite souvent aux paradigmes d'allocation de ressources, de disponibilité par tête et d'utilisation rationnelle de l'eau, ne prenant en compte ni la circulation de l'eau ni les 3R (Encadré 2).

Pourtant, les 3R peuvent largement contribuer à accroître la quantité et la qualité des ressources en eau. Par exemple, au Bangladesh, l'infiltration induite des berges permet de réutiliser l'eau des rivières dans l'agriculture ou à des fins domestiques. Lors de ce processus d'infiltration, l'eau des rivières comprenant une forte teneur en arsenic est filtrée et son stockage dans l'aquifère rend

l'eau disponible pendant une grande partie de l'année. Dans la plupart des cas, l'utilisation et la réutilisation de l'eau décrites dans le Chapitre 3 ont lieu grâce à un stockage de l'eau à court terme dans le profil pédologique ou dans les aquifères de surface.

#### Encadré 2 : Circulation de l'eau dans le bassin du Nil en Égypte

En Égypte, le bassin du Nil est un exemple de recirculation de l'eau (technique 3R). Sur une base annuelle, le montant d'eau disponible à Assouan est de 55 milliards de m<sup>3</sup>, mais le volume d'eau utilisé et réutilisé en Égypte (en contrebas d'Assouan) se situe probablement autour de 66 à 70 milliards de m<sup>3</sup>. Si l'on tient compte de l'efficacité du transport de l'eau servant à l'irrigation, on peut considérer que les gouttes d'eau entrant dans le système sont transportées plusieurs fois.

#### Fonctions de soutien pour les écosystèmes et l'agriculture

Enfin, une bonne gestion des réservoirs tampons présente aussi d'importants bénéfices indirects. Ces effets positifs ne sont pas toujours pris en compte.

Pourtant, leur impact peut être substantiel. Les nappes phréatiques élevées contribuent à maintenir l'humidité du sol à un niveau adéquat, contribuant ainsi largement à favoriser une gestion « verte » de l'eau. La

gestion de l'eau verte consiste à gérer l'humidité du sol (à l'opposé de la gestion de l'eau bleue, celle provenant des rivières, des lacs et des réservoirs). Tant dans les zones arides qu'humides, le fait de maintenir l'humidité du sol permet d'avoir un niveau de productivité élevé dans l'agriculture pluviale.



Figure 3 : Puits ouvert adjacent au déversoir de contrôle à Vanvasi, Inde (photo: MetaMeta)

La gestion de l'eau verte a en effet un lien avec la fertilité des sols, qui bénéficient également d'un meilleur travail des sols, du compost et du paillage, et de processus physico-chimiques et biologiques tels que fixation de l'azote, nitrification et dénitrification et oxydation.

## 2.2 Les techniques 3R

Diverses techniques 3R – dont les principaux éléments sont constitués par la recharge, la retenue et la réutilisation de l'eau – peuvent faire augmenter les capacités de stockage à l'échelle d'un sous-bassin et améliorer sa gestion.

Certaines de ces techniques sont anciennes et éprouvées, d'autres sont nouvelles et innovantes. La méthode 3 R doit être appliquée tant dans les zones arides que dans les régions humides. En effet, il est important de prendre conscience du fait que la gestion de l'eau s'impose non seulement lorsque les ressources en eau sont rares, comme dans les zones arides, mais également lorsqu'elles sont abondantes. La manière dont cette question est traitée peut différer dans les régions arides et humides, mais il est nécessaire d'améliorer partout tant la gestion de l'eau que l'adaptation au changement climatique.

Le concept des 3R vise à concevoir et à intégrer ces solutions individuelles au niveau d'un bassin ou d'un sous-bassin, en relation étroite avec toutes les activités de planification locale, concernant notamment l'aménagement de l'espace, la planification des infrastructures locales, le développement des terres agricoles, l'irrigation et les zones naturelles. L'objectif des 3R est d'évaluer avec soin l'importance et la place de chaque facteur, afin d'éviter de s'enliser dans des interventions et des actions d'amélioration isolées.

Le Chapitre 3 présente 19 cas d'application des techniques 3R. Regroupées en suivant les 3R, ces études de cas illustrent le fait que la recharge, la retenue et la réutilisation de l'eau sont interconnectées tant à l'échelle locale qu'à celle des bassins hydrographiques.

### Recharge

La recharge contribue à la circulation de l'eau en ajoutant de l'eau dans le réservoir tampon. Elle peut provenir de la collecte des eaux pluviales et des eaux de ruissellement (recharge naturelle), d'une infiltration accrue de processus naturels grâce à des interventions humaines (gestion de la recharge des aquifères – MAR). Elle peut également être un produit dérivé provenant d'un autre facteur (irrigation inefficace ou fuites survenues dans les conduites des systèmes d'approvisionnement en eau). Une recharge appropriée nécessite par conséquent de gérer la recharge naturelle, d'utiliser la recharge artificielle et de contrôler la recharge secondaire. La recharge a été faite à l'échelle dans certaines régions des pays suivants : Inde, Chine, Kenya et Éthiopie. Cependant, cette approche est inconnue dans d'autres régions de ces mêmes pays comme elle le demeure dans les autres régions du monde. Là où la recharge a été faite à l'échelle, cela a permis d'atténuer les dégradations à grande échelle et, le succès engendrant le succès, la masse critique ainsi atteinte a servi de base pour le renforcement des capacités et l'attraction d'investissements locaux.

Il existe de nombreuses techniques de gestion de la recharge des aquifères – certaines sont anciennes et éprouvées, d'autres très innovantes (voir la figure 1 et les études de cas). Elles vont des systèmes individuels de collecte de l'eau de pluie à partir des toits, de petites solutions de stockage et de puits de recharge jusqu'au captage de l'eau dans des bassins, comme dans l'irrigation par épandage (Voir encadré). La recharge en eau à petite échelle fonctionne mieux si elle répond aux besoins des communautés et ménages locaux.

Nombre de systèmes sont adaptés à une installation et à une gestion effectuées au niveau des ménages ou des communautés, ou par des gestionnaires des bassins hydrographiques ou des services d'approvisionnement en eau privés ou publics. Les communautés gèrent certains des grands systèmes. Le système d'irrigation par épandage (Encadré 3) pratiqué en Asie du Sud est l'un des systèmes les plus importants au monde à être gérés par les agriculteurs.

### Box 3: Spate irrigation

L'irrigation par épandage est un type de gestion de l'eau spécifiquement adapté aux environnements semi-arides. On le rencontre au Moyen-Orient, en Afrique du Nord, en Asie occidentale, en Afrique de l'Est et dans certaines régions d'Amérique latine.

Les eaux de crue collectées dans les montagnes sont détournées des lits des cours d'eau saisonniers (oueds) et répandues sur de vastes étendues pour irriguer les terres agricoles.

Ces systèmes d'épandage sont cependant soumis à de hauts risques. L'incertitude vient tant de la nature imprévisible des crues des rivières que des changements fréquents subis par les lits des cours d'eau dont l'eau est détournée. Les groupes dont les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire dépendent des épandages appartiennent souvent au segment le plus pauvre de la population rurale.

Un réel savoir local s'est développé en matière d'organisation des systèmes d'épandage et de gestion tant des eaux de crue que des lourds chargements de sédiments que celles-ci transportent avec elles.

Tableau 1 : Classification proposée pour les systèmes de gestion de la recharge des aquifères (MAR)

Technique	Dénominations utilisées
Conservation de l'humidité	Labour précoce Techniques de labour Paillage Diguettes Compost
Méthodes d'épandage	Étangs et bassins d'infiltration Biofiltration (SAT) Inondation contrôlée
Dispositifs en canal	Recharge secondaire par l'irrigation Mares d'infiltration derrière les barrages de retenue Barrages de sable Barrages en sous-sol Barrages perméables et recharge

Recharge des puits, puits fondés, points de captage	Puits et puits fondés ouverts Stockage et récupération d'eau dans les aquifères (ASR) Grands bassins parfois complétés par des dispositifs d'injection
Récupération des eaux de pluie et des eaux de ruissellement	Récupération des eaux de pluie à partir des toits, Diguettes, tranchées Irrigation par épandage
Infiltration induite des berges	Infiltration des berges - Infiltration dans les dunes

Source : AIH-MAR (2005) et AIH/section canadienne (2003)

Un inventaire global des techniques de recharge et de ses applications est disponible sur le site internet du Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC), [www.igrac.net](http://www.igrac.net).

Il est tout aussi important de gérer la recharge naturelle.

La recharge naturelle bénéficie de l'entretien ou de la construction d'éléments paysagers, tels que terrasses, petits murets, dépressions, qui ralentissent et retiennent le ruissellement de surface, ainsi que de la présence, le long des canaux, de routes et de digues judicieusement conçues.

Elle est également améliorée lorsque l'on veille à ce que l'infiltration ait lieu dans des zones non couvertes, en évitant l'essor de zones urbaines présentant des sols imperméables.

Dans les zones agricoles, la préparation des sols permet d'absorber une grande partie des eaux de pluie. Lors de la planification des systèmes d'irrigation, il est essentiel d'examiner l'état des bandes tampons souterraines, qui jouent un rôle décisif dans le captage et la réutilisation des eaux d'infiltration.

Il existe également un lien étroit entre la recharge naturelle et l'état des cours d'eau et des rivières. Ce n'est pas en enfermant les rivières dans des rives étroites ou en retirant tous les graviers et le sable qu'elles contiennent que l'on assure leur capacité à stocker et retenir les crues.

Il convient pour ce faire de réduire la vitesse du débit, d'élargir les réservoirs tampons en surface et d'améliorer l'interface d'infiltration avec l'aquifère (en général, des aquifères alluviaux). La gestion des bassins versants permet quant à elle de concilier les besoins en eau des communautés locales avec ceux des communautés situées en aval tout en respectant l'environnement, et concerne le volume et les périodes de disponibilité en eau et l'atténuation des inondations.

### Retenue

La retenue ralentit l'écoulement latéral des eaux souterraines. Elle permet de remplir la nappe phréatique et de créer un large tampon humide dans le sous-sol. Dans de telles conditions, il est plus facile de récupérer et de faire circuler l'eau.

La retenue permet d'étendre les utilisations de la chaîne de l'eau et de relever le niveau de la nappe phréatique. Le fait de ralentir, ou même de contrôler les écoulements latéraux, affecte la nappe phréatique ainsi que le degré d'humidité et la composition chimique du sol. Cela s'est traduit par une amélioration des rendements dans les zones agricoles basées sur des productions pluviales.

Certains considèrent qu'il est, dans certains cas, préférable de contrôler l'humidité du sol à partir du sous-sol plutôt que d'irriguer les sols avec les eaux de surface, car cela permet de limiter les pertes dues à l'évaporation et à la formation de croûtes de sel à la surface du sol.

Une forme élaborée de retenue des eaux souterraines est celle du drainage contrôlé, par lequel on augmente ou diminue la quantité d'eau des nappes phréatiques en fonction des besoins saisonniers (stockage des eaux de crue, agriculture ou autres usages). Compte tenu de la relation étroite qui existe entre les niveaux des eaux souterraines et celui des cours d'eau, la réussite d'un tel projet suppose que l'on puisse établir un bon équilibre entre les différents intérêts et parties prenantes concernés.

Les nombreuses techniques de retenue des eaux souterraines vont de la plus simple à la plus sophistiquée.

Parmi les méthodes les moins coûteuses, on trouve une technique qui est habituelle dans l'est de l'Inde et au Bangladesh : des bouchons de terre placés dans les canaux d'irrigation peuvent retenir les eaux souterraines sur de grandes zones.

Les barrages souterrains et les barrages de sable ont le même effet, permettant de retenir les eaux souterraines et de créer un immense réservoir en augmentant le débit de sortie.

Dans l'État du Maharashtra, situé au centre de l'Inde, le barrage appelé KG Weirs a des obturateurs (appelés « aiguilles ») qui remplissent la même fonction : ils puisent l'eau et rechargent l'aquifère situé en amont. Les systèmes de drainage contrôlé en sous-sol – comportant des réseaux de collecteurs et de distributeurs équipés de valves et de tuyaux de sortie spéciaux, rendant possible une gestion précise du niveau des eaux souterraines – font partie des techniques les plus sophistiquées.

### Réutilisation

La réutilisation est le troisième élément de la gestion des réservoirs tampons. Le principal défi des 3R réside dans la nécessité de veiller à une circulation optimale de l'eau. Le problème de rareté est résolu non seulement en gérant la demande par le biais de la réduction de la consommation, mais également en veillant à la recirculation de l'eau.

Trois procédés jouent un rôle important dans la gestion de la réutilisation.

Le premier procédé est la gestion de l'évaporation (n'ayant pas d'effets positifs). L'eau qui s'évapore « quitte » le système et ne peut plus y circuler.

C'est là un important concept. Dans certaines zones, par exemple, une irrigation « efficace » réduit la recharge réutilisable et entraîne l'évaporation d'un pourcentage plus important d'eau. Cela diminue la quantité d'eau disponible pour être réutilisée et peut menacer l'équilibre hydrographique. Une source d'évaporation provient du sol – notamment des dépressions et des étendues humides. Il existe un équilibre fragile entre la nécessité de préserver une bonne humidité du sol (que l'on peut aussi obtenir par des pratiques agronomiques adaptées, arbres donnant de l'ombre ou autres) et celle visant à éviter les pertes dues à l'évaporation venant du sol. En fait, dans certaines zones, la

réduction de la nappe phréatique (passant d'un niveau élevé à un niveau moyen) peut réduire ce type d'évaporation (celle qui n'a pas d'effets positifs).

Le deuxième procédé consiste à gérer la qualité de l'eau. La réutilisation de l'eau dépend de sa qualité, étant entendu que des fonctions différentes créent des exigences de qualité différentes. La gestion de la qualité de l'eau est un important élément de la gestion des réservoirs tampons. Elle permet d'éviter de mélanger l'eau réutilisable avec de l'eau de moins bonne qualité et empêche la remontée ou les écoulements latéraux de sources de qualité inférieure. La nécessité de s'assurer qu'une réutilisation répétée de l'eau et sa fréquente circulation ne font pas baisser la qualité de l'eau en-dessous des seuils de sécurité exige évidemment le déploiement de grands efforts. Le fait que l'eau potable doive être d'une qualité supérieure à celle de l'eau d'irrigation montre qu'il est nécessaire de séquencer la réutilisation.

Le troisième procédé visant à optimiser la réutilisation consiste à veiller à ce que l'eau ne se déplace pas vers une zone où il est difficile de la récupérer et de la réutiliser. La différence entre les tampons secs et humides est ici pertinente. L'eau qui est rechargée dans un réservoir sec non saturé est difficile à récupérer et, bien qu'elle ne soit pas perdue, il est difficile de la remettre dans le circuit de l'eau. Au contraire, lorsque la bande tampon est saturée, elle peut être facilement récupérée. Le tampon humide ou la zone saturée est situé là où se produit une interaction hydrologique intense entre la recharge et la réutilisation, et entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Dans la zone saturée, la réutilisation est rapide, car l'eau qui s'écoule est rapidement récupérée et remise dans le circuit. Un des importants défis des 3R réside dans la nécessité d'augmenter les « tampons humides » et de bien gérer les utilisations existantes.

En retenant les eaux souterraines et en ralentissant les mouvements latéraux, la retenue peut créer ou élargir de telles zones saturées. Il convient d'apprécier ces nuances car ce n'est pas parce qu'un bassin est une unité hydrologique que les eaux qui y sont traitées sont toutes de même nature. Toutes ces techniques exigent bien entendu une bonne compréhension de « ce que cela recouvre », autrement dit des caractéristiques de ces réservoirs d'eau souterrains.

Ces tampons sont tous différents. Ils diffèrent en termes de taille, d'interaction hydrologique, de capacité de stockage et de vulnérabilité. La caractérisation des systèmes d'eaux souterraines dans un bassin requiert l'expertise d'un hydrogéologue, qui possède les compétences pour dresser une carte des différents aquifères et préciser les propriétés essentielles du bassin (Figure 4).

Il n'existe pas d'approche standard permettant de déterminer les « stratégies adaptées aux réservoirs tampons », dans la mesure où des conditions socio-économiques et environnementales différentes fixent des points de départ nécessairement différents. Nous avons cependant beaucoup à gagner en adaptant les 3R aux possibilités et aux préférences locales, telles que celles-ci sont identifiées par les différentes parties prenantes vivant « au-dessus d'un tampon ».

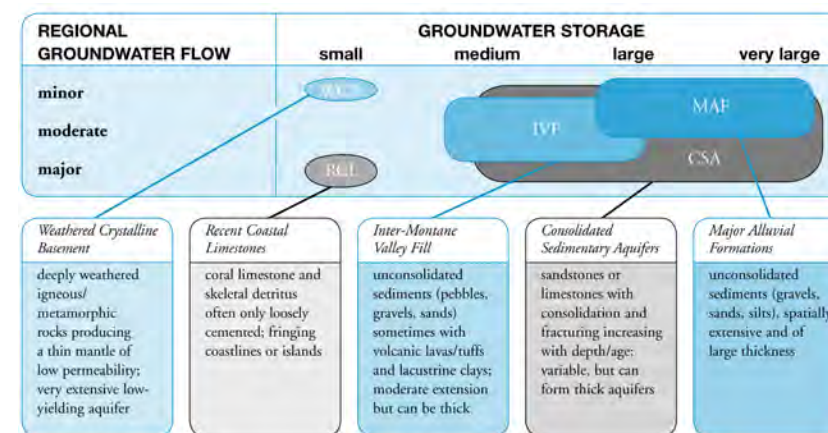


Figure 4: Résumé des propriétés clés des différents types d'aquifères (Source : Characterization of groundwater systems, GWMate BN 2 ; [www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate))

## 2.3 Les processus 3R

### Évaluer les besoins locaux

La gestion des réservoirs tampons doit reposer sur une compréhension approfondie des moyens d'existence locaux et des besoins, priorités et potentialités des populations vivant dans la zone concernée (allant de l'accès à l'eau potable aux possibilités de développement économique).

L'application des 3 R devrait être envisagée à l'échelle, faire partie intégrante du développement et prendre en compte les opportunités et contraintes locales. La sécurité de la disponibilité des ressources en eau atteinte grâce à une meilleure gestion des tampons a des conséquences sur les populations vivant dans la zone qu'il convient de bien appréhender.

### Évaluer la faisabilité

Les cartes d'opportunités 3 R constituent une aide à la décision pour les investissements à réaliser dans le domaine des 3 R.

Ces cartes sont basées sur la compréhension de l'hydrogéologie superficielle et des processus relatifs à l'humidité du sol (avec l'aide de la télédétection et des prévisions décennales préférables du changement climatique pour la zone concernée, accompagnées de projections sur les précipitations et ruissellements).

Ces cartes d'opportunités 3 R, qui sont des évaluations des potentialités hydrologiques et hydrogéologiques, incluent des aspects tels que la gouvernance et le financement, non seulement du système spécifique des 3 R, mais également des conditions préalables nécessaires pour pouvoir assurer un bon fonctionnement des 3 R, notamment l'utilisation des terres et les changements possibles à apporter. L'évaluation peut ainsi conduire à des études de faisabilité détaillées et à des analyses coûts-avantages.

L'évaluation des risques relatifs à la fiabilité des rendements est un autre outil utile pour la gestion de l'eau et les évaluations 3 R, car elle permet d'appréhender les corrélations existant entre les systèmes de gestion de l'eau et l'atténuation des effets liés aux conditions climatiques actuelles et futures. Elle aide à résoudre le débat relatif à l'acceptation des risques dans un contexte d'incertitude (avec ou sans les 3 R en fonction des conditions).

### Informations sur le climat

On dispose, tant pour l'évaluation de la faisabilité des 3 R que pour leur mise en œuvre, d'informations météorologiques et climatiques spécifiques et ciblées. Leur consultation est donc à la fois souhaitable et nécessaire. Pour une description détaillée des types d'informations existant et la manière de les utiliser, consultez *Climate Change Adaptation in the Water Sector*, par Ludwig, Kabat, Van Schaik et Van der Valk.

Tableau 2 : Outils d'information sur le climat et remarques sur leur application dans la gestion de l'eau

Outils	Remarques
Séries chronologiques des variables climatiques	• Prévisibilité : la nature et l'amplitude de la variabilité du climat varie fortement sur les échelles spatiales et temporelles
Hydrologie stochastique (synthétique)	• Détection des tendances : le rapport signal-bruit et la disponibilité d'observations homogènes (long terme), déterminent la détection d'une tendance
Analyse des valeurs extrêmes des précipitations et des crues	• Basée sur des séries chronologiques des précipitations et des crues
Scénarios climatiques	• Projections sur le climat : Les cinquante premières années d'incertitude dans les conditions initiales sont plus importantes que les incertitudes relatives à des forces extérieures (émissions de GES) de GES) forces extérieures (émissions de GES)
Prévisions sur le climat	• Les corrélations existant entre les températures de la surface des mers et les phénomènes d'oscillation (ENSO, PDO, NAO et IOD) servent de base pour les prévisions saisonnières • Les interactions terre-atmosphère, en particulier l'humidité du sol, servent de base pour les prévisions saisonnières
Modèles climatiques (MCG/MCR)	• Prévisibilité déterminée par les conditions initiales et par les forces extérieures • Projections des modèles : des modèles de circulation générale aux modèles du système terrestre • L'incertitude associée à des systèmes de modélisation imparfaits peut être résolue par l'emploi de multi-modèles

Des séries chronologiques, des analyses stochastiques (aleatoires) hydrologiques et des analyses des valeurs extrêmes sont disponibles et peuvent être utilisées dans le cadre d'études de faisabilité 3 R. Le tableau 2 donne un aperçu des outils d'information sur le climat et des avantages et inconvénients liés à leur utilisation dans la gestion de l'eau.

(Ludwig et coll., 2009).

### Mise en œuvre et financement

Il est possible de réaliser des économies significatives en matière de gestion des réservoirs tampons en ayant recours à une planification plus attentive et en utilisant des techniques relativement peu coûteuses.

Comme les exemples pratiques des 3R présentés dans ce livret le démontrent, de nombreuses techniques comportent des délais de remboursement très courts et certaines peuvent être gérées dans le cadre d'initiatives locales ou communautaires. Compte tenu de l'impact du changement climatique sur le long terme, il existe un niveau supérieur de gestion des 3R susceptible de rendre la mise en œuvre de leurs applications financièrement viable.

Le financement des 3R ne doit pas être limité à un seul secteur – secteur public, secteur privé ou initiatives individuelles. Il est souhaitable qu'un large réseau soit constitué qui inclue tous les secteurs et identifie les principaux bénéficiaires et les intervenants étant le mieux positionnés pour gérer et opérer l'installation 3R. Une stratégie de mise en œuvre et de financement des 3R doit ainsi systématiquement envisager les différentes fonctions remplies par la gestion des bassins tampons, identifier les intérêts associés à ces fonctions et aider à déterminer les acteurs qu'il convient d'impliquer dans ses différents éléments.

Dans le financement des 3R, un certain nombre de principes s'imposent :

- Mobiliser l'action et les investissements – avoir les connaissances et les mesures incitatives prêtes pour les familles, les entreprises et les communautés locales, qui leur permettront d'investir dans la recharge, la retenue et la réutilisation (les 3R). Ces incitations pouvant être constituées d'avantages directs.
- Créer des liens avec d'autres investissements – en intégrant la gestion des tampons dans la planification routière, les plans d'urbanisme et les programmes de développement rural, afin d'obtenir une maîtrise optimale des coûts.
- Utiliser les opportunités d'investissements spéciaux – par exemple les fonds d'adaptation au changement climatique – pour maximiser les investissements venant d'autres organismes.
- Prendre conscience et utiliser les importants intérêts impliqués par les questions de l'eau et du développement rural. En cas d'extraction de sable et de graviers, par exemple, des montants importants sont en jeu dans les concessions minières, que l'on peut utiliser pour investir dans la collecte des eaux de pluie, la gestion des bassins tampons et la retenue des eaux.

#### Encadré 4 : Utiliser les nouvelles informations satellitaires

Une nouvelle génération de techniques satellitaires – telles que le bilan énergétique de surface – rendent possible l'évaluation de l'humidité du sol, des systèmes de cultures et des rendements prévus des cultures (par séries chronologiques et en garantissant une grande précision). Ces techniques permettent de faire une reconnaissance des zones et des interventions les plus pertinentes.

Avec l'aide de la télédétection, un bilan hydrique peut être établi, utilisant le même ensemble de données et la même méthodologie (au lieu d'éléments composites provenant de différents calculs) pour évaluer l'évaporation correspondant aux diverses utilisations des terres.

En combinant ces informations avec les données sur le débit des cours d'eau et les précipitations, il est possible de réaliser un bilan hydrique.

Cette technique innovante rend possible l'estimation des utilisations nettes des eaux souterraines en tant que solde du bilan hydrique. On peut l'utiliser pour en déduire une estimation fiable des eaux souterraines retirées sans identifier les caractéristiques des puits individuels. Les données peuvent également être utilisées pour le calibrage des modèles de simulation des eaux souterraines, en se basant sur des études hydrogéologiques – incluant forage, tests de pompage, géophysique, hydrochimie et méthodes isotopiques – pour caractériser les systèmes d'écoulement des aquifères et des eaux souterraines.

Utilisant le spectre infrarouge, les satellites permettent de contrôler les précipitations en temps réel sur une échelle mondiale, y compris dans des zones éloignées de toute station météorologique. Cela permet d'identifier les zones à fort et à faible potentiel en termes de collecte des eaux de pluie et de gestion des eaux de ruissellement.

### Gestion institutionnelle et sociale

Il est aussi important d'intégrer le développement des 3R dans la planification des bassins fluviaux. Dans le monde entier, les bassins fluviaux sont considérés comme étant la base de toute planification des ressources en eau. On se réfère pour cela non seulement à la Directive Cadre européenne sur l'eau, mais aussi au continent africain, où l'AMCOW (la Conférence ministérielle africaine sur l'eau) a reconnu les organisations de bassins fluviaux et lacustres comme étant les composantes de base permettant de favoriser la gestion des ressources en eau, y compris celle des eaux souterraines.

L'aspect relatif aux moyens d'existence joue également un rôle important. La question qui se pose ici est de savoir ce que les 3R et la gestion des réservoirs tampons signifient pour la vie des personnes – femmes, hommes et enfants.

Les considérations liées au genre ont également une importance significative, car ce sont traditionnellement les femmes qui se chargent de l'approvisionnement en eau du foyer. Dans de nombreuses régions, la garde du troupeau fait aussi partie du domaine réservé aux femmes. Par ailleurs, le rôle des femmes dans les petites exploitations agricoles a tendance à augmenter dans de nombreuses parties du monde. Par conséquent, le fait d'impliquer les femmes dans la démarche 3R contribuera largement à assurer son succès.

### Base de connaissances et partage de l'information

Étant encore dans sa phase initiale, l'approche 3R bénéficiera largement du partage des informations existant en la matière, de l'échange des bonnes pratiques et des leçons tirées de l'expérience. On envisage de développer dans un futur proche une base commune de connaissances et un centre d'information.

Un site internet – [3rwater.org](http://3rwater.org) – est en cours de construction. Il sera le point central de la communication sur le sujet. Le fait de partager l'information aidera également à la formulation d'un agenda en matière de recherche et développement, aux fins d'affiner l'approche 3R et de traiter du

développement de technologies spécifiques devant donner lieu à des tests ou à des projets pilotes.

## Références

P. Dillon, P. Pavelic, D. Page, H. Beringen et Ward J. (2009) : Managed Aquifer Recharge : An Introduction (*Gestion de la recharge des aquifères : Introduction*). Rapport Waterlines No 13, Février 2009. <http://www.nwc.gov.au/www/html/996-mar--an-introduction---report-no-13-feb-2009.asp>.

Environment Protection and Heritage Council, National Health and Medical Research Council and Natural Resource Management Ministerial Council (2009) : Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) Managed Aquifer Recharge. (*Lignes directrices de l'Australie sur le recyclage de l'eau : La gestion des risques sanitaires et environnementaux (Phase 2) : gérer la recharge des aquifères*). National Water Quality Management Strategy. (<http://www.ephc.gov.au/taxonomy/term/39>).

D. Grey, et C. Sadoff (2006) : Présentation dans Global Issues Seminar Series, 25 janvier 2006 : "The Global Water Challenge: Poverty, Growth & International Relations" (*Le défi mondial de l'eau : Pauvreté, croissance et relations internationales, Banque mondiale*).

IAH-MAR (2005) : Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas (Stratégies pour la gestion de la recharge des aquifères – MAR – dans les zones semi-arides), publié sous la direction de Ian Gale. ([http://www.iah.org/recharge/downloads/MAR\\_strategies.pdf](http://www.iah.org/recharge/downloads/MAR_strategies.pdf)).

IAH-NCC (2003) : *Management of Aquifer Recharge and Sub Surface Storage - Making Better Use of our Largest Reservoir* (La gestion de la recharge des aquifères et du stockage souterrain : Pour une meilleure utilisation de notre plus grand réservoir (sous la direction de Jan Piet Heederik et Albert Tuinhof), AIH-section canadienne, publication N° 4. ([http://www.iah.org/recharge/MAR\\_reports.htm](http://www.iah.org/recharge/MAR_reports.htm)).

P. Lawrence et F. van Steenberg (2005) : Improving community spate irrigation (*Améliorer l'irrigation par épandage au niveau communautaire*). Wallingford: HR Wallingford and MetaMeta. <http://www.spate-irrigation.org/guide/guidehome.htm>

F. Ludwig, P. Kabat, H. van Schaik et M.R. van der Valk (2009) : Climate Change Adaptation in the Water Sector (*L'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'eau*). Earthscan, London; ISBN 978-1-84407-652-9.

## 3. Études de cas

Ce chapitre présente des exemples de gestion concrète d'installations tampons, telle qu'elle est mise en œuvre dans une grande variété de régions. Dans certains cas, des techniques définies par les autochtones et ayant fait leurs preuves sont utilisées, parfois modifiées. Dans d'autres cas, des méthodes totalement nouvelles sont introduites.

L'accent peut être mis sur la recharge, la retenue (y compris en utilisant les possibilités locales de stockage en surface) ou la réutilisation ou sur une combinaison des trois (Voir le tableau). Plusieurs de ces cas montrent qu'une application systématique des 3R est susceptible d'améliorer et d'optimiser la fonction tampon pour des zones entières, et pas uniquement pour des endroits isolés.

No	Case	Recharge	Retention	Reuse
1	Étangs d'infiltration aménagés dans les dunes d'Atlantis, Afrique du Sud	<input type="checkbox"/>		
2	Infiltration des rives à petite échelle - en utilisant le stockage des sédiments de la rivière, Bangladesh, Inde	<input type="checkbox"/>		
3	Recharge artificielle des eaux souterraines et des zones de protection dans les zones arides, barrage du Wadi Wala, Jordanie	<input type="checkbox"/>		
4	Fourniture d'eau potable dans des zones ayant des eaux souterraines salines, Chaco, Paraguay	<input type="checkbox"/>		
5	Barrages de sable, Kitui, Kenya	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Utilisation des crues pour l'irrigation et la recharge, Yémen	<input type="checkbox"/>		
7	Détournement de crues de courte durée vers les bassins d'infiltration dans des zones très arides, Niger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Recherche d'alternatives à l'extraction du sable du lit des rivières, Inde et Sri Lanka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

No	Case	Recharge	Retention	Reuse
9	Barrages souterrains - interceptant les eaux souterraines pour les stocker, Brésil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Retenue de l'eau dans des zones très humides, Bengale du Nord, Inde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	« Banque de l'eau » créée avec le surplus des eaux de surface, Namibie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Barrages de retenue des eaux de surface en haute altitude, Pérou		<input type="checkbox"/>	
13	Collecte des eaux de pluie dans des zones arides, Afrique subsaharienne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Récupération de l'eau de source, Tanzanie		<input type="checkbox"/>	
15	Récupération des eaux de pluie dans les zones touchées par la salinisation, Sénégal		<input type="checkbox"/>	
16	Les multiples aspects des eaux de pluie, Népal		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Drainage contrôlé, Pays-Bas		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Utilisation conjointe des eaux souterraines et des eaux de surface pour l'irrigation à grande échelle, Maroc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	Optimiser les infrastructures routières pour la recharge, la retenue et la réutilisation, Kenya, Chine, Brésil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Étangs d'infiltration

### Aménagés dans les dunes d'Atlantis, Afrique du Sud

Les dunes de sable présentent des caractéristiques favorables au stockage de l'eau, en raison de leur grande perméabilité et de leur capacité souvent importante de stockage. L'infiltration des dunes est largement utilisée à diverses échelles et dans différents buts, notamment l'approvisionnement en eau potable, l'amélioration de la qualité de l'eau par filtration, le maintien d'une réserve stratégique ou pour disposer d'une barrière contre l'intrusion d'eaux souterraines salines.



Figure 1 : Étangs d'infiltration dans les dunes à Atlantis, Afrique du Sud

#### Description

À Atlantis (Afrique du Sud), l'infiltration des dunes est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable et pour la protection des réserves souterraines en eau douce contre l'intrusion d'eaux souterraines salines.

La ville d'Atlantis, située à 50 km au nord du Cap, sur la côte occidentale semi-aride d'Afrique du Sud, compte plus de 100 000 habitants.

La consommation d'eau non réglementée y est proche de 7 millions de mètres cubes par an (en 2000).

La plupart des précipitations (450 mm de moyenne annuelle) ont lieu d'avril à septembre.

Les sols étant essentiellement sableux, 15 à 30 % des eaux de pluie rechargent les eaux souterraines. C'est dans les zones de dunes dénudées que les pourcentages de la recharge sont les plus élevés.



Depuis son établissement en 1976, la ville dépend des réserves en eau souterraines pour son approvisionnement en eau. Cependant, ces réserves sont limitées. Pour les augmenter, on a introduit une recharge artificielle au moyen de bassins d'infiltration peu de temps après (Figure 1).

Étant de construction récente, la ville a été planifiée avec des zones résidentielles et industrielles totalement séparées.

Cette particularité a contribué au succès de la recharge artificielle, car elle a permis de détourner les eaux pluviales (pour pouvoir infiltrer les bassins) et les eaux usées de qualité inférieure provenant de la zone industrielle, qui ont été orientées vers une station d'épuration des eaux usées (Figure 2).

## Techniques utilisées

Pour améliorer la recharge naturelle des eaux souterraines par le biais des précipitations, on a construit des étangs d'infiltration dans la zone dunaire très perméable.

Des bassins furent soit creusés, soit formés et contenus au moyen de digues retenant l'eau destinée à la recharge jusqu'à ce qu'elle s'infilte au fond du bassin.

Dans la région d'Atlantis, le ruissellement de surface est, dans des conditions naturelles, généralement faible en raison de la forte capacité d'infiltration du sol.

On s'est rendu compte que l'urbanisation et le durcissement des sols qui allait en résulter allaient entraîner la production d'importants volumes d'eaux de pluie. Néanmoins, le ruissellement de ces eaux a été considéré comme une source d'eau précieuse permettant d'augmenter l'approvisionnement en eau douce de la région. On a donc construit un système de collecte des eaux de pluie. Constituant une source d'eau additionnelle, les eaux domestiques usées, une fois retraitées, sont rechargées dans l'aquifère avec les eaux pluviales.

## Résultats et impacts

Le système de recharge artificielle d'Atlantis est un système de taille moyenne qui nécessite une gestion professionnelle.

Celle-ci est assurée par le Département des eaux de la ville du Cap. Certaines des expériences clés faites dans l'entretien et la mise en œuvre du système au cours des vingt dernières années sont présentées ci-après :

- L'entretien de l'installation de recharge est essentiel. Le fond de l'étang doit être inspecté et traité régulièrement afin de minimiser les engorgements, de maintenir les taux d'infiltration et de veiller à une évaporation minimum de l'eau de surface ;
- L'engorgement des points de captage lié à la présence de fer et dû à un pompage excessif s'est avéré être un problème grave et de grande ampleur. De 1999 à 2002, les puits de captage ont été examinés et remis en état grâce à des techniques de traitement spéciales ;

- L'un des plus grands défis a résidé dans la difficulté de gérer la qualité de l'eau, en particulier les problèmes de salinité. Des mesures de gestion visant à contrôler la salinité de l'eau fournie à Atlantis ont été prises avec, notamment, le lancement d'une enquête chimique détaillée portant sur les sources de salinité, d'autres actions consistant à procéder à un contrôle régulier et à établir un système de détection précoce signalant tout risque potentiel de pertes incontrôlées ;
- Certains secteurs ont mis en place des actions de sensibilisation et des pratiques environnementales améliorées. Une compréhension accrue des risques de contamination permet à ces industries d'améliorer leurs procédures opérationnelles visant à protéger leurs ressources en eau.

L'infiltration des dunes présente les avantages et inconvénients généraux suivants

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La survenance de crues prévisibles peut être traitée en construisant des bassins de taille appropriée</li> <li>- Les eaux de crues intermittentes peuvent être stockées en vue d'une infiltration ultérieure.</li> <li>- L'engorgement peut être atténué grâce à des techniques de construction des bassins et des procédures opérationnelles appropriées.</li> <li>- Les bassins d'infiltration étant équipés d'un système d'alimentation, celui-ci peut être arrêté dans les périodes où la source d'eau est de faible qualité</li> <li>- Ils sont intégrés dans le paysage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non approprié aux sites de décharge/collines.</li> <li>- Risque de contamination de l'eau souterraine dans des sols à texture très grossière (le bassin devrait être déclaré zone protégée).</li> <li>- Le stockage de l'eau de surface peut augmenter la reproduction de vecteurs de maladies et concomitamment accroître le risque de maladies, telles que la malaria.</li> </ul>

## Conclusion

Les habitants d'Atlantis (> 100 000 habitants) ont accès à une eau potable de bonne qualité dans une région semi-aride caractérisée par la faiblesse de ses ressources en eau.

Les habitants d'Atlantis (> 100 000 habitants) ont accès à une eau potable de bonne qualité dans une région semi-aride caractérisée par la faiblesse de ses ressources en eau de surface et des précipitations.

Compte tenu de l'irrégularité croissante des précipitations dans le sud de l'Afrique, cette méthode consistant à récupérer l'eau dans les dunes est également considérée comme la plus appropriée pour faire face à une demande croissante et s'adapter au changement climatique.

Cette méthode de recharge artificielle intervenant au moyen d'étangs d'infiltration peut être mise

en œuvre partout, du moment que l'on dispose de ressources en eau douce et salubre au moins une partie de l'année, que le fond du bassin est perméable et que l'aquifère à recharger est situé à la surface ou est proche de la surface.

En dehors des précipitations naturelles, les étangs d'infiltration pourraient également être approvisionnés grâce à l'apport des eaux pluviales des villes et des eaux domestiques usées et retraitées. Ces étangs exigent cependant une surface relativement importante et ne conviennent par conséquent que dans les zones où l'on dispose d'une place suffisante pour leur installation. Compte tenu de leur grande vulnérabilité aux risques de contamination, ils doivent être situés dans une zone protégée.



Figure 2 : Carte du dispositif de recharge artificielle d'Atlantis (Source : G. Tredoux, 2002)

## Références

T. Asano (1985) : Artificial Recharge of Groundwater (La recharge artificielle des eaux souterraines), éditions Butterworth. Stoneham, États-Unis.

I. Gale (2005) : Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas (*Stratégies pour la recharge des aquifères – MAR – dans les zones semi-arides*). AIH - MAR, UNESCO PHI, Paris, France.

G. Tredoux et L.C. Cavé (2002) : Atlantis Aquifer : A status report on 20 years of groundwater management at Atlantis (L'aquifère d'Atlantis : Bilan de 20 ans de gestion des eaux souterraines à Atlantis). ENV-S-C 2002-069, CSIR.

G. Tredoux et L.C. Cavé (2002) : Long-term stormwater and wastewater infiltration into a sandy aquifer, South Africa (*Infiltration à long terme des eaux usées et des eaux de pluie dans un aquifère sablonneux, Afrique du Sud*). Gestion de la recharge des aquifères pour un développement durable. Actes de l'ISAR-4, Adélaïde, Australie du sud.

AIH-NCC (2003) : Management of Aquifer Recharge, Making Better Use of Our Largest Reservoir (*Gestion de la recharge des aquifères : Pour une meilleure utilisation de notre plus grand réservoir*) ; AIH-section canadienne, publication no4), disponible sur <http://www.iah.org>

# Infiltration des rives à petite échelle - en utilisant le stockage des sédiments de la rivière

## Bangladesh - Inde

Dans les endroits où coulent rivières et cours d'eaux, l'eau est conservée dans les rivières, les lits des rivières et dans les sédiments accumulés sur les berges.

Ce stockage naturel et l'écoulement des eaux souterraines peuvent être utilisés efficacement en ayant recours à des systèmes d'infiltration des berges (RBI).

Ces systèmes et procédés sont ici illustrés à l'aide d'un cas sur le Bangladesh, où les ressources en eau contiennent une forte concentration d'arsenic, et d'un cas réalisé au Maharashtra où l'on trouve une grande quantité de fluorure dans les eaux souterraines. Les autres concepts utilisés ici sont : infiltration induite des berges et systèmes d'infiltration des eaux de surface (SWIS).

## Description

L'infiltration des rives utilise généralement une galerie, un puits ou une série de puits (forés) à une courte distance de la rivière. L'eau souterraine prélevée des puits ou de la galerie baisse le niveau de la nappe phréatique adjacente à la rivière, augmentant l'infiltration naturelle de l'eau de la rivière dans l'aquifère. Lors de la circulation de l'eau souterraine du lit de la rivière au puits, les contaminants et les agents pathogènes sont supprimés au moyen de procédés physiques, chimiques et biologiques.



Figure 3. Puits d'infiltration construit sur les rives d'un fleuve au Bangladesh, permettant de contrôler la teneur en arsenic de l'eau fournie (Photo : A. Tuinhof)

Un exemple d'application réussie dans une zone humide concerne l'infiltration des rives à Chapai Nawabganj, au Bangladesh, où l'eau exempte d'arsenic est pompée d'un puits situé près de la rivière (Figure 1). Le puits creusé de Maharashtra (Figure 2) illustre l'infiltration des rives dans une région sèche où l'eau exempte de fluor est pompée tout au long de l'année pour approvisionner une communauté située à proximité.

## Techniques utilisées

Les dispositifs d'infiltration des rives sont le plus souvent installés près de rivières hydrauliquement reliées à l'aquifère par des sédiments perméables tels que sable ou graviers.

Un des critères importants dans la conception d'un tel dispositif d'infiltration est de s'assurer que le circuit de l'eau de la rivière au point de prélèvement sera d'une durée minimum de 30 à 60 jours, ce afin d'atteindre un niveau de purification satisfaisant.

La figure 3 montre une configuration typique d'infiltration des rives. Le composant principal est le dispositif de captage, qui est généralement composé d'un puits foré ou creusé à la main et comportant des filtres verticaux ou horizontaux en fonction de l'épaisseur de l'aquifère.

Lorsque les sédiments perméables sont fins, il est possible d'installer des galeries d'infiltration à la base de l'aquifère pour permettre une recharge plus importante que ce qui serait autrement possible.

Une approche typique pour la conception d'un système d'infiltration des rives à petite échelle est la suivante :

- Forage de puits d'observation peu profonds pour contrôler la qualité de l'eau, le débit de l'eau souterraine et le type et la profondeur des sédiments (y compris l'épaisseur de la couche argileuse le long de la berge) ;
- Forage d'un puits de production pour permettre un test de déversement constant (72 heures) pendant lequel on surveille le niveau de l'eau souterraine dans des puits d'observation ;
- Évaluation du test et calculs avec un modèle (simple) des eaux souterraines pour concevoir



Figure 4. River bank infiltration well in Maharashtra (Photo A. Tuinhof)

Les puits de prélèvement, évaluer la capacité de stockage de l'aquifère et vérifier la durée (60 jours) du trajet de l'eau.

Certains dispositifs d'infiltration plus importants sont complétés de bassins d'infiltration ou de puits de recharge, afin d'améliorer la qualité de l'eau et d'augmenter la recharge (Figure 4). On peut aussi appliquer un dépôt artificiel dans le lit de la rivière, pour créer un environnement clos et éviter ainsi la pollution de l'eau infiltrée par des matériaux organiques.

Nombre de dispositifs d'infiltration des rives sont opérationnels, allant de larges dispositifs permettant d'approvisionner en eau potable des cités telles que Budapest ou Berlin à de petits dispositifs destinés à fournir de l'eau à des communautés locales et comportant quelques puits le long des berges d'une rivière. Lorsque c'est nécessaire, pendant les périodes où le débit de la rivière est lent, de petits dispositifs peuvent utiliser l'eau souterraine provenant du stockage naturel.

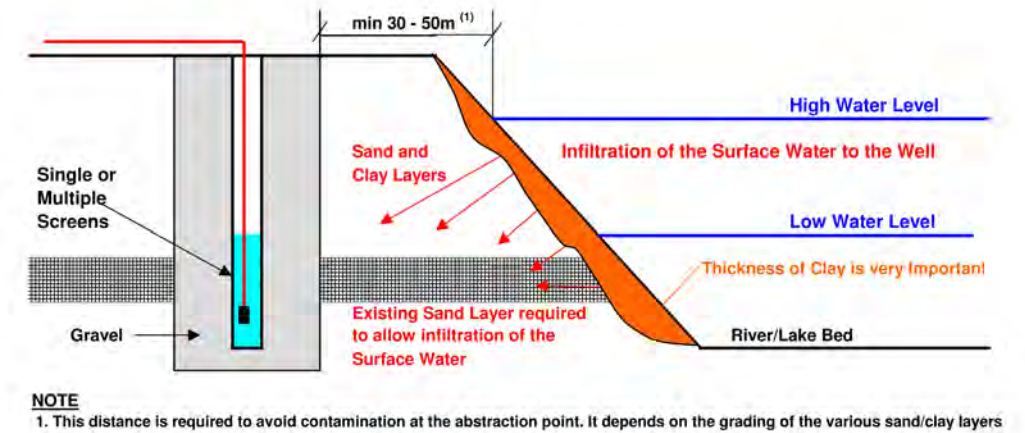


Figure 1. Typical design of RBI

S. Cette distance est nécessaire pour éviter la contamination au point de captage. Elle dépend de la disposition des différentes couches de sable et d'argile.

## Résultats et impacts

L'infiltration des rives fournit de l'eau potable sans nécessiter de traitements coûteux et constitue une solution économique comparée au traitement des eaux de surface ou aux systèmes d'adduction à longue distance (Encadré). Les systèmes d'infiltration à petite échelle présentent un avantage supplémentaire, en ce sens que la capacité de stockage des sédiments situés autour du lit de la rivière fournit une source d'eau pendant la saison sèche, lorsqu'il n'y a pas de débit dans la rivière. L'amélioration de la qualité de l'eau (comparée à l'utilisation directe de l'eau de surface) constitue le principal avantage des installations d'infiltration sur berges. De plus, les effets sur les niveaux piézométriques sont limités, comparés au prélèvement d'eau souterraine.

Si l'aquifère s'étend sous la rivière, l'approvisionnement en eau est plus sûr pendant la période de débit limité. Cela est particulièrement pertinent pour de petites installations fournissant de l'eau potable à des villages ou à de petites villes.

Les inconvénients sont dus au fait qu'il peut être nécessaire de racler la surface du lit de la rivière pendant les périodes où le niveau d'eau est faible. Si l'engorgement du lit de la rivière ou du lac est excessif, il accroît la résistance de l'eau dans les sédiments.

Une contamination de longue durée de l'eau de la rivière par des composés organiques persistants (pesticides, produits pharmaceutiques) est susceptible de contaminer les eaux souterraines, et constitue de ce fait la principale menace réelle pour des installations de filtrations sur berges. Le contrôle de la qualité de l'eau de la rivière et de l'eau prélevée devrait donc faire partie du processus opérationnel courant.

## Conclusion

L'infiltration sur berges à petite échelle est un moyen avantageux de fournir de l'eau plus salubre présentant tout au long de l'année un haut niveau de qualité, en particulier si on la compare à l'utilisation de l'eau de surface. Le stockage de l'eau de surface provenant des rivières et des lacs dans les aquifères adjacents permet également d'éviter les pertes dues à l'évaporation d'une ressource qui, dans de nombreuses situations, devient de plus en plus irrégulière, dans le temps comme dans l'espace.

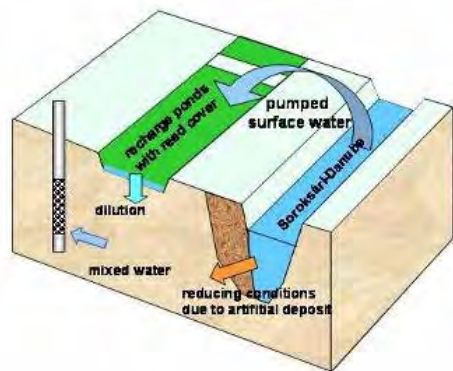


Figure 2 : Puits d'infiltration des rives à Maharashtra

## Ville de Mwingi (Kenya) : Infiltration sur berges locale, préférée à un transport longue distance

Mwingi Town est situé le long de la rivière saisonnière Thia, dans la province orientale semi-aride du Kenya (pluviosité de 600 mm/an).

La principale source d'eau provient des eaux souterraines prélevées dans les puits creusés (temporaires) dans le lit de la rivière. En 1983, la municipalité a construit un puits creusé permanent le long du lit de la rivière d'où était pompée l'eau approvisionnant la ville.

La capacité fut accrue en 1993 grâce à un nouveau puits (de 3 m de diamètre). L'eau approvisionnait 300 foyers et plusieurs points d'eau publics, moyennant un tarif forfaitaire de 480 shillings par mois. Une nouvelle extension était prévue, mais celle-ci n'a jamais été réalisée en raison de la construction d'une installation moderne d'approvisionnement en eau.

Un nouveau système fut ainsi construit en 1998, apportant l'eau du barrage de Kimbere (situé à 60 km). L'eau est pompée dans un réservoir de 2 700 m<sup>3</sup> et distribuée par gravité. Le nouveau système est géré par un opérateur régional (TARDA) qui facture 170 shillings par m<sup>3</sup> pour le raccordement des 300 maisons et 2,5 shillings par 20 litres pour les sept kiosques du village. Une surtaxe est également appliquée pour le débitmètre ;

Depuis sa construction, le nouveau système a été régulièrement hors d'usage durant des périodes indéterminées pouvant parfois atteindre un mois. Pendant ces périodes, des vendeurs d'eau ambulants (utilisant des ânes) distribuent de l'eau à partir de puits temporaires situés dans le lit de la rivière, à un prix de 10-20 shillings (KHS) par m<sup>3</sup>.

Le coût élevé et le faible niveau de service de la nouvelle installation a créé un grand mécontentement au sein des institutions publiques et parmi les consommateurs locaux, qui préféreraient réinstaller et agrandir l'ancien système, qui était géré par la municipalité et fournissait une eau de bonne qualité à un prix abordable.

## Autres lectures

AIH-NCC (2003) : Management of Aquifer Recharge, Making Better Use of Our Largest Reservoir; (Gestion de la recharge des aquifères : Pour une meilleure utilisation de notre plus grand réservoir). AIH - section canadienne, publication n° 4). Disponible sur [www.iah.org](http://www.iah.org)

AIH (2005) : Strategies for Management Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas (*Stratégies de gestion de la recharge des aquifères – MAR – dans les zones semi-arides*). Commission AIH-MAR ; sous la direction de Ian Gale). Disponible sur [www.iah.org](http://www.iah.org)

# Recharge artificielle des eaux souterraines et zones de protection dans les zones arides

## Barrage de Wadi Wala, Jordanie

by Dr. Armin Margane / BGR  
armin.margane@bgr.de

La Jordanie est un pays où les ressources en eau sont extrêmement rares, ne fournissant que 135 m<sup>3</sup> d'eau environ par personne et par an. Les principaux facteurs ayant conduit à une telle situation sont : un taux de croissance démographique très élevé et un afflux important de réfugiés venant des pays voisins affectés par la guerre et des troubles civils.

En Jordanie, les précipitations ne se produisent que pendant une courte saison humide (normalement, de novembre à mars) et sont concentrées dans la partie située la plus à l'ouest du pays (Figure 1). Depuis la fin des années soixante, le gouvernement jordanien a construit un certain nombre de barrages aux fins de stocker l'eau de surface pendant la saison humide et de l'utiliser principalement durant la saison sèche. Jusqu'à récemment, la plupart de ces barrages ont été utilisés pour l'irrigation. Cependant, au cours des dernières années, le gouvernement a construit une série de grands barrages dans le but d'utiliser en priorité l'eau de surface pour l'alimentation en eau potable.

Deux de ces barrages, situés dans la zone centre-ouest du pays, ont été achevés en 2003 :

le Wadi Mujib, ayant une capacité maximale de stockage de 31,2 millions de m<sup>3</sup> (production assurée :

16,6 millions de m<sup>3</sup>/an) et le Wadi Wala, qui a une capacité maximale de stockage de 9,3 millions de m<sup>3</sup> (production assurée : 17,7 millions de m<sup>3</sup>/an).

Ces deux barrages sont situés dans la partie occidentale de la zone de captage des eaux de surface du Wadi Mujib, à proximité de la mer Morte. Le barrage de Wadi Mujib est situé dans une zone où les conditions géologiques et les installations techniques garantissent qu'aucune infiltration ne se produise dans les nappes souterraines. Néanmoins, le Wadi Wala a été construit dans une zone où l'eau de surface peut s'infiltrer dans le principal aquifère utilisé en Jordanie, l'aquifère A7/B2.

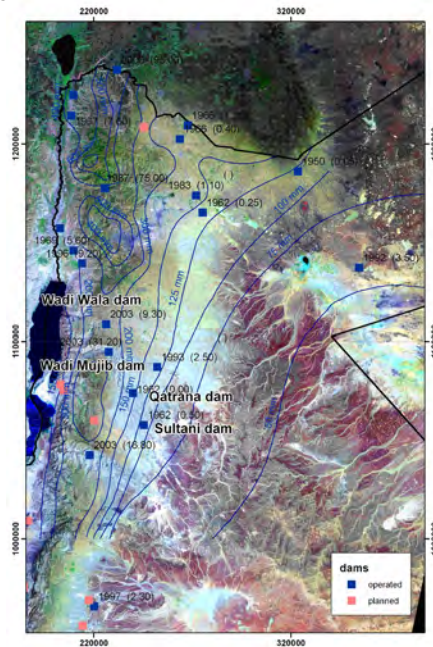


Figure 1: Situation des barrages de Wadi Wala et Mujib, capacités maximum de stockage (en millions de m<sup>3</sup>) et répartition des précipitations moyennes.

Les eaux souterraines artificiellement rechargées sur le site du barrage de Wala sont ensuite captées dans la zone située en aval sur le champ de captage de Wala/Heidan, à quelques 8 km à l'ouest du barrage.

Ce champ, qui comprend environ 40 puits, a été utilisé depuis le début des années 1980. Depuis 1992, le captage y a été en moyenne de 12 millions de m<sup>3</sup>/an, variant entre 8 et 14 millions de m<sup>3</sup>/an. Il y a, en aval du barrage et dans le voisinage du champ de captage, plusieurs puits de contrôle du niveau de l'eau.

Ceux-ci montrent que dans la zone située immédiatement en aval du barrage, les niveaux des nappes souterraines se sont élevés de 25 et 40 m après le début de la mise en marche du barrage (Figure 2).

Même dans le champ de captage de Wala/Heidan, les niveaux de la nappe phréatique ont augmenté de 16 m à l'extrémité du champ et de 35 m dans sa partie centrale.

Barrage de Wadi Wala – Niveaux d'eau dans les puits d'observation et de recharge

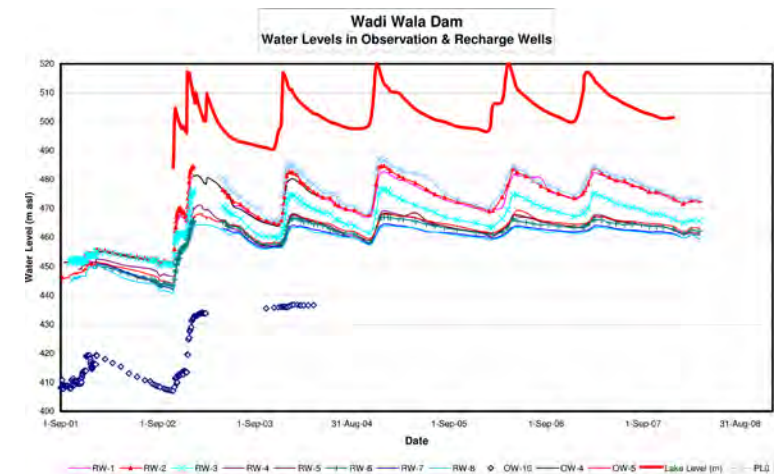


Figure 2 : Graphiques de suivi du niveau des eaux du lac et des eaux souterraines dans la zone en aval du barrage de Wadi Wala (distance maximale séparant les puits de contrôle du réservoir : 2 km)

## Techniques utilisées

Après six ans de fonctionnement, la recharge artificielle des eaux souterraines au barrage de Wadi Wala s'est jusqu'à présent révélée efficace. Les puits d'injection, installés lors de la construction du barrage, n'ont pas encore été utilisés.

Dans l'intervalle, des quantités considérables de sédiments se sont accumulées au bas du réservoir (Figure 3), conduisant à un blocage de la conduite de prélèvement inférieure et du tuyau de sortie situé au fond. Actuellement, l'eau ne peut être évacuée que par le tuyau de prélèvement supérieur. Lorsque le réservoir fut asséché durant l'été 2008, on constata qu'une fine couche de sédiments recouvrait également les parois latérales du réservoir.

Les données à long terme de contrôle du niveau de l'eau montrent que l'accumulation de sédiments n'a pas – ou du moins pas encore – entraîné une diminution significative de la recharge artificielle des eaux souterraines. On suppose donc que la recharge artificielle actuelle des eaux souterraines et intervient principalement dans la direction latérale, et suit ensuite les fractures verticales.

Sur le long terme, cependant, on s'attend à une baisse de la recharge artificielle, en raison de l'accumulation des sédiments et du colmatage – une situation qui rendra nécessaire l'utilisation des puits d'injection et qui est également susceptible de modifier la composition hydro chimique du réservoir, comme on a pu l'observer au barrage de Wadi Mujib.

En conséquence, il est essentiel que lors de la conception et de la construction des barrages, le problème de l'accumulation de sédiments, provoquée par les afflux de sédiments et les glissements de terrain, soit examiné avec attention, en particulier s'agissant de barrages destinés à la recharge artificielle des eaux souterraines.

On devrait pouvoir réduire l'afflux de sédiments dans les réservoirs en installant de grands bassins d'amortissement dans la zone en amont qui doit régulièrement être vidée.

Il convient de mentionner que les tentatives précédentes faites par le gouvernement jordanien pour exploiter des barrages de recharge artificielle sur la zone plane de Qatrana et Sultani, située à l'est des barrages de Mujib et Wala (figure 3), ont échoué en raison de problèmes d'envasement. Dans le cadre d'un projet de coopération technique existant entre la Jordanie et l'Allemagne, des zones de protection des eaux de surface ont récemment été établies pour les deux barrages de Wadi Wala et Mujib (Margane et coll., 2008 et 2009).

Le critère principal retenu a consisté à utiliser l'angle d'inclinaison de la pente près du barrage pour la délimitation de la zone de protection 2 (Margane et coll., 2007). Dans la ligne directrice y afférent, la zone 2 est définie comme étant une zone tampon de 500 m autour de la zone 1, et la zone 1 est identifiée comme étant une zone tampon de 100 m autour d'un réservoir



Figure 3 : L'accumulation de sédiments au fond du barrage de Wadi Wala a conduit à la fermeture du tuyau de sortie et du tuyau de prélèvement inférieur

La zone 2 est mesurée à partir du niveau d'eau le plus élevé possible si la pente dans la zone est inférieure à 20°. Si la pente excède 2° à 500 m, la zone 2 sera délimitée jusqu'au point où la pente est inférieure à 2°.

Dans la zone en amont, la zone 2 atteint un maximum de 5 km suivant le cours des principaux oueds se déversant dans la zone 1.

La zone de protection du barrage de Wadi Wala est représentée sur la Figure 4.

Les principales conséquences inhérentes à la délimitation de la zone de protection des barrages résident dans le fait que le gouvernement jordanien devra établir des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées pour les villages situés à proximité des barrages.

Dans le cas du barrage de Wadi Wala, la protection du réservoir et de la zone située entre l'installation de recharge artificielle et celle de captage des eaux souterraines, le champ de captage de Wala/Heidan (Figure 5), doit être examinée, car la pollution risque aussi de survenir dans ce circuit d'écoulement.

Dans cette zone, les principaux dangers concernant les eaux souterraines sont liés aux pratiques agricoles, en l'occurrence à l'utilisation fréquente et abondante de pesticides et engrais organiques et chimiques non traités. Suite à l'établissement des deux barrages, les zones cultivées se sont étendues, notamment à proximité et en aval des barrages.

Par conséquent, il est essentiel que les questions de protection des eaux de surface et des eaux souterraines soient traitées au moment du choix des sites et dans la phase de conception d'un barrage.

C'est une condition préalable pour assurer une protection efficace des ressources en eau.

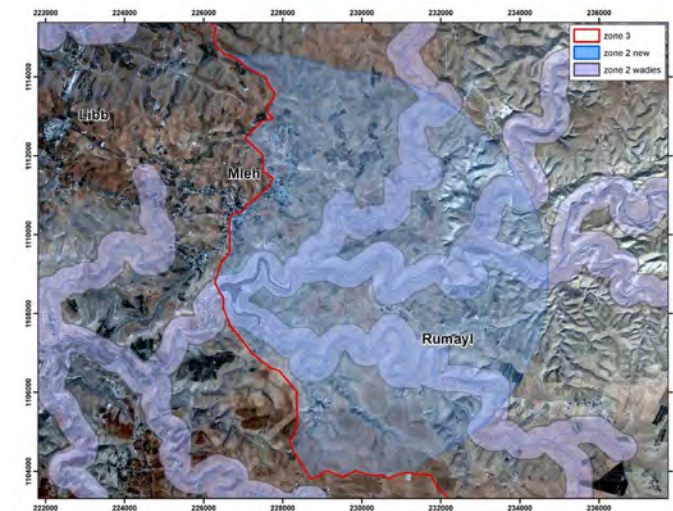


Figure 4 : Zones de protection des eaux de surface pour le barrage de Wadi Wala (selon la directive jordanienne, la zone 2 des principaux oueds couvre une zone tampon de 350 m des deux côtés du milieu de l'oued)



Figure 5 : Situation du barrage Wadi Wala et du champ de captage Wala/Heidan, avec le réseau d'approvisionnement en eau (les zones vertes entre le réservoir et le champ de captage représentent les zones irriguées).

# Fourniture d'eau potable dans des zones ayant des eaux souterraines salines

## Chaco, Paraguay

### Introduction

Les zones dont les eaux souterraines sont salines sont parmi celles qui posent le plus de problèmes en termes de gestion de l'approvisionnement en eau potable. La collecte des eaux de pluie et la gestion prudente de lentilles d'eau douce souterraines revêtent donc dans ces régions une importance vitale. La plaine du Chaco au Paraguay est l'exemple même d'une vaste région dont les eaux souterraines sont salines.

### Description

Le Chaco – dont la superficie est de 240 000 km<sup>2</sup> – couvre deux tiers du Paraguay (Figure 1). La région est faiblement peuplée et en grande partie sous-développée et les ressources en eau potable y sont limitées.

La plupart des eaux souterraines sont salées et il n'existe ni rivières ni lacs permanents. Le Chaco est un vaste cône alluvial formé de dépôts sédimentaires provenant des Andes. La zone centrale et occidentale qui s'étend jusqu'au Rio Pilcomayo couvre l'ancien delta de la rivière Pilcomayo.

Elle est composée de sédiments à granulométrie moyenne à très fine (sable, limon, argile et autres granulés intermédiaires) avec une alternance d'aquifères et d'aquitards. Sable fin, limon et argile alternent tant latéralement que verticalement.

En raison de la faible inclinaison de l'ancien delta, les eaux souterraines s'écoulent lentement d'ouest en est avec un débit allant de 0,6 à 1,8 m/an (Junker, 1996).

Dans la partie centrale du Chaco, la nappe souterraine peu profonde est située à une profondeur de 3 à 15 mètres de la surface. Les eaux souterraines de la région sont un mélange d'eau saumâtre et d'eau à forte teneur en sel dont la conductibilité électrique peut atteindre 60 000 ppm (à 25°C) (Echeverria, 1989 ; Godoy, 1990).



Figure 2 : Formation d'une lentille d'eau douce résultant de l'infiltration des eaux de pluie

### Références

- A. Margane, A. Borgstedt, I. Hamdan, A. Subah & Z. Hajali (2009) : Delineation of Surface Water Protection Zones for the Wala Dam. - Technical Cooperation Project 'Groundwater Resources Management'. (Délimitation des zones de protection des eaux de surface pour le barrage de Wala – Projet de coopération technique « Gestion des ressources en eaux souterraines »). Rapport technique N° 12, préparé par le BGR & MWI. Archives BGR 0128313, 126 p. ; Amman.
- A. Margane, A. Subah, Z. Hajali, T. Almomani, A. Koz (2008) : Delineation of Surface Water Protection Zones for the Mujib Dam. - Technical Cooperation Project 'Groundwater Resources Management'. (Délimitation des zones de protection des eaux de surface pour le barrage de Mujib – Projet de coopération technique « Gestion des ressources en eaux souterraines »). Rapport technique N° 10, préparé par le BGR & MWI. Archives BGR no. 0128312, 132 p. ; Amman.
- A. Margane & A. Subah (2007) : Guideline for the Delineation of Surface Water Protection Areas. - Technical Cooperation Project 'Groundwater Resources Management'. (Recommandation pour la délimitation des zones de protection des eaux de surface – Projet de coopération technique « Gestion des ressources en eaux souterraines »). Rapport technique N°6, préparé par le BGR & MWI. Archives du BGR no 0126943, 117 p., 1 CD ; Amman.

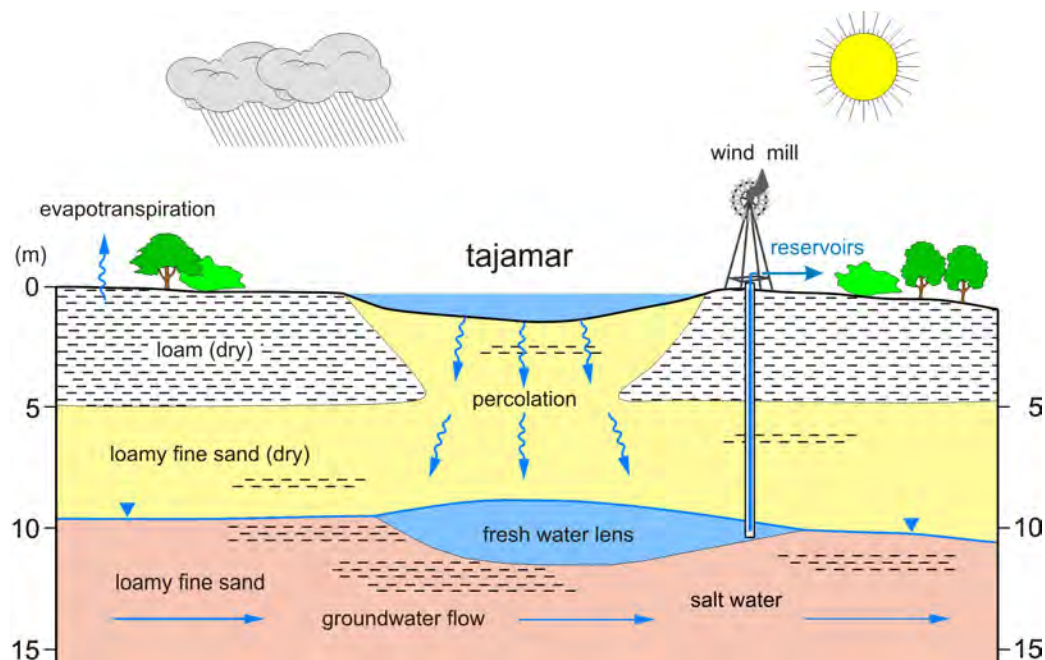


Figure 2 : Formation d'une lentille d'eau douce résultant de l'infiltration des eaux de pluie

La moyenne des précipitations annuelles se situe entre 800 mm et 900 mm, pouvant atteindre certaines années des maximums de 1 600 mm. La majeure partie des précipitations ont lieu de novembre à mars, alors que la région connaît aussi un pic d'évaporation.

## Techniques utilisées

Dans la région du Chaco, l'utilisation des eaux de pluie pendant la saison humide revêt une importance décisive pour répondre aux besoins en eau à usage domestique. Pour atteindre cet objectif, on a recours à deux méthodes :

- Collecte des eaux de pluie. Les eaux pluviales sont récupérées à partir des toits et stockées dans des citernes souterraines. L'eau est puisée à l'aide de pompes manuelles et mise dans des seaux ou pompée dans des châteaux d'eau au moyen de pompes électriques (Keller, 1995).
- Si l'on veille à la propreté des gouttières et des citernes, la qualité de l'eau est bonne.
- Stockage des eaux de surface et recharge artificielle des eaux souterraines au moyen de ce que l'on appelle des tajamars.
- Certains tajamars récupèrent les eaux de ruissellement d'une zone importante et les stockent dans un réservoir de surface. D'autres tajamars sont des dépressions artificielles (Figure 2) qui, comme les dépressions naturelles, alimentent les lentilles d'eau douce locales. Ces lentilles d'eau douce flottent à la surface de l'aquifère salin. Elles se forment lorsque les conditions suivantes sont réunies :
  - Dépression alimentée par un vaste bassin versant ;
  - Survenance de fortes précipitations (plus de 35 mm), permettant à l'eau de s'accumuler dans les

dépressions ou tajamars ;

- Présence d'un sol sableux dans la dépression, facilitant la percolation de l'eau ;
- La zone non saturée est sableuse et fortement perméable, de telle sorte que l'on dispose d'une zone tampon ayant une capacité de stockage suffisante ;
- La profondeur jusqu'à la nappe phréatique est de 4 m minimum, ce qui évite l'évaporation ;
- Le débit d'écoulement des eaux souterraines est très lent. En conséquence, la lentille d'eau douce n'est pas perturbée et mélangée avec les eaux souterraines salines proches.

Les systèmes des tajamars sont gérés par les communautés.

Ils peuvent, dans des conditions très difficiles, fournir une source d'eau et servent d'outil d'adaptation au changement climatique, car ils bénéficient de la survenance de fortes précipitations.

L'eau est pompée et mise dans un réservoir au moyen d'une éolienne, comme le montre la Figure 3.

Pour éviter toute contamination par les animaux, il conviendrait de clôturer les tajamars.

Le prix d'un tjamar – qui permet de servir une communauté de quatre cents personnes (60 foyers) – était approximativement de 20 000 euros. Ce coût comprenait l'ouvrage de recharge,

une éolienne, cinq citernes, le prix des tuyaux et des conduits ainsi que le coût de la main d'œuvre. Un tel montant de dépenses est en général à la portée du budget des communautés locales.

Par ailleurs, ces tajamars peuvent être conçus et construits par la communauté, ce qui permet une bonne appropriation du projet et un transfert effectif du savoir-faire technique. Autant d'éléments indispensables pour garantir l'exploitation et la maintenance futures de ces dispositifs d'approvisionnement en eau.



Figure 3 : Une éolienne pompe l'eau dans un réservoir



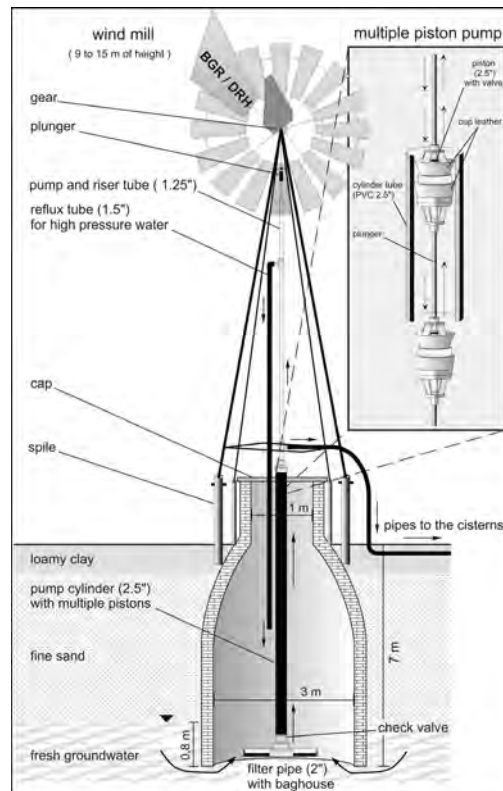


Figure 4 : Aperçu schématique d'une éolienne

## References

E.V. Godoy (1990) : Características hidrogeológicas e hidroquímicas de la región oeste del Chaco Paraguayo.

(*Caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la région ouest du Chaco, Paraguay*).

- Dpto. Abast. Agua para el Chaco : 107 S., 27 Abb., 7 Taf.; Filadelfia, Paraguay (DRH).

M. Junker (1996) : Determinación de las características hidrogeológicas y evaluación de la recarga de agua subterránea en el área del Tajamar Serenidad, Filadelfia (*Détermination des caractéristiques hydrogéologiques et évaluation de la recharge des eaux souterraines dans la zone du tajar Serenidad*) - Info. Téc. No 14, Coop. Hidrol. Parag.-Alem.: 57 S., 3 Abb., 3 Taf.; Filadelfia, Paraguay (BGR/DRH).

S. Keller (1995) : Posibilidades de desarrollo del Chaco Paraguayo por el control del consumo del agua subterránea y el aprovechamiento de las precipitaciones. (*Possibilités de développement du Chaco par le contrôle de la consommation des eaux souterraines et la collecte des eaux de pluie*) - Info. Téc. No. 14, coop. Hidrol. Parag.-Alem., 25 S., 8 Abb.; BGR/DRH, Filadelfia, Paraguay.

M. von Hoyer, M. Junker, C. Centurion, D. Irrazabal-Soza, F.A. Larroza, S. Farina-Larroza et J.L. Paredes-Rolon (2000) : Sustained Water Supply by Artificial Groundwater Recharge in the Chaco of Paraguay. (*Un approvisionnement en eau durable grâce à la recharge artificielle des eaux souterraines dans le Chaco, Paraguay*). SH1 (2000), Sonderheft ZAG p. 207-215

# Barrages de sable de Kitui

## Kenya

### Introduction

Si on la compare aux systèmes individuels, la mise en œuvre à grande échelle d'installations de recharge des eaux souterraines présente de nombreux avantages.

Les volumes d'eaux souterraines stockés dans un grand réservoir sont en général plus importants, et les dommages écologiques causés sont ainsi évités.

Les avantages existant sur le plan social sont également nombreux, comme on a pu l'observer dans le district de Kitui (Kenya) où plus de 750 barrages de sable destinés au stockage de l'eau ont été construits.



Figure 1: Exemple d'un barrage de sable destiné au stockage de l'eau, pendant la saison sèche ; district de Kitui

### Description

Le district de Kitui est situé à 150 km à l'est de Nairobi. Il s'étend sur une superficie d'environ 20 000 km<sup>2</sup>, dont 6 400 km<sup>2</sup> sont situés dans le Parc national de Tsavo, territoire non habité.

Dans cette zone semi-aride, les précipitations, irrégulières et largement imprévisibles, tombent pendant les deux saisons humides, prenant généralement la forme de violentes tempêtes.

La majorité des cours d'eau sont saisonniers et n'ont d'eau que pendant la saison humide. Pendant la saison sèche, les sources d'eau de surface sont rares, voire inexistantes.

L'allongement de la période sèche a accru les distances à faire à pied pour atteindre les rares sources d'eau. Pour répondre à ces problèmes, on a construit des barrages de sable pour stocker l'eau.

Dans les années 1990, l'ONG kényane SASOL a, en étroite collaboration avec les communautés locales, pris l'initiative d'assurer l'approvisionnement en eau des communautés rurales du district de Kitui en construisant des barrages de sable destinés au stockage de l'eau.

Dans la décennie qui a suivi, plus de 750 barrages ont été construits, fournissant avec succès aux communautés de l'eau pour l'usage domestique et l'irrigation à petite échelle.

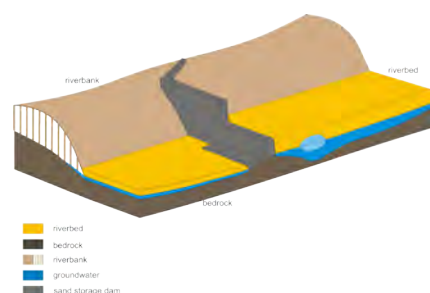


Figure 3 : Lit d'une rivière pendant la saison sèche, avec barrage de sable pour le stockage de l'eau. Le volume d'eau disponible est beaucoup plus important que dans une rivière sans barrage (Hoogmoed, 2009)

Ces barrages ont été réalisés dans le lit des rivières pour accroître l'épaisseur de la couche sableuse naturelle, et élargir ainsi la capacité de stockage de l'aquifère situé sous le lit. Par ailleurs, le barrage de sable destiné au stockage obstrue l'écoulement des eaux souterraines au travers du lit de la rivière, empêchant les pertes d'eau des points de captage. La construction d'un barrage de stockage dans le sable permet de stocker un plus grand volume d'eau dans le lit du cours d'eau, assurant une qualité d'eau supérieure et une meilleure disponibilité (en général, tout au long de la saison sèche).

### Techniques utilisées

Dans la construction d'un barrage de sable destiné au stockage de l'eau, la première étape consiste à choisir le site. Voici les qualités générales que doit présenter un lit de rivière pour constituer un site approprié :

- Lit ayant une largeur de 20 m environ et contenant du sable grossier ;
- Berges escarpées des deux côtés et ayant une hauteur d'environ 1 m à 1,50 m ;
- Berges de préférence constituées de matériaux argileux ou d'affleurements rocheux ;
- La présence d'eaux souterraines (trous creusés dans le lit de la rivière) quelques mois après la fin des pluies est un signe positif (c'est-à-dire qu'à l'aval de cet endroit, une barrière naturelle ralentissant l'écoulement est présente et une couche (à demi) imperméable empêche les fuites vers les aquifères plus profonds).

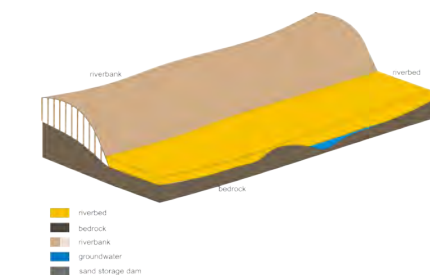


Figure 2 : Lit d'une rivière pendant la saison sèche, en l'absence de barrage de sable pour le stockage de l'eau (Hoogmoed, 2009)

La sélection de sites constituant une partie essentielle du processus de mise en œuvre, il est recommandé de consulter un expert à ce sujet.

Lorsqu'un site approprié a été sélectionné, la phase de conception du projet peut commencer.

Elle se fondera sur le profil de coupe transversal, le débit de pointe et l'apport en eau nécessaire.

Lorsqu'elle est achevée, il peut falloir – en fonction des caractéristiques du bassin versant situé en amont – de 1 à 10 saisons humides pour que le barrage soit complètement rempli de sédiments et d'eau.

Si le barrage de sable a été bien construit, il exige peu de travaux d'entretien majeurs, voire aucun.

Néanmoins, si l'on observe des fissures ou des points fragiles dans le barrage, il convient de faire inspecter l'ensemble de l'ouvrage par un ingénieur technique et un maçon afin d'effectuer les réparations avant la saison des pluies, et d'éviter ainsi la survenance d'autres dommages.

Il convient également de veiller à la propreté de la zone située en amont du barrage – en procédant au retrait des excréments d'animaux, des animaux morts, des rochers et arbres (ou branches) qui s'y trouvent – aux fins d'éviter tous dommages et risques de contamination de l'eau.

Les communautés sont impliquées dans le choix du site et la construction des barrages de sable dans le cadre de groupes de gestion du barrage.

Ils partagent ainsi leurs connaissances et fournissent la main d'œuvre et les matières premières nécessaires. Après la phase de construction, ces groupes assurent l'entretien des barrages et la protection de la qualité de l'eau et contribuent à l'appropriation des installations et donc à leur durabilité.

### Résultats et effets

Dans le district de Kitui, la mise en œuvre de barrages de sable a conduit à la mise à disposition d'eau de meilleure qualité à proximité des exploitations.

La collecte de l'eau prenant moins de temps, cela a eu pour effet d'accroître de manière significative la fréquentation scolaire, et les habitants ont pu consacrer plus de temps à d'autres activités génératrices de revenus : arts ménagers, artisanat (vannerie, couture).

Tout en apportant une sécurité de l'approvisionnement en eau potable, ce type de barrages fournit également suffisamment d'eau pour permettre des actions d'irrigation à petite échelle (cultures vivrières et de rapport, pépinières) et des activités industrielles (fabrication de briques). Après leur introduction, le pourcentage des ménages souffrant de malnutrition a disparu (chutant de 32 % à 0 %), et les revenus de ceux-ci ont sensiblement augmenté.

Catégories de vulnérabilité	Indicateurs de vulnérabilité	Avant la construction	Après la construction du barrage
Agriculture	# de cultures de rapport	15	3
	% de cultures irriguées	37	68
Aspects particuliers	Collecte de l'eau à usage domestique (en minutes)	140	90
	Collecte de l'eau pour le bétail (en minutes)	110	50
Genre	Distance moyenne de marche des femmes jusqu'au point d'eau (km)	3	1
Économie	Revenu (dollars US/an)	230	350
Santé	% de foyers souffrant de malnutrition	32	0

Tableau 1 : Effets sociaux et économiques des barrages de sable dans la région de Kitui, Kenya (d'après Thomas, 1999).

Dans le district de Kitui, l'installation de barrages de sable a été effectuée à grande échelle, et souvent en cascades.

Les avantages hydrologiques d'une installation en cascades sont liés au fait qu'elle permet de réduire les pertes d'eau grâce au filtre opéré par le barrage de stockage (dans la mesure où le barrage en aval obstruera tout écoulement situé plus en aval), et les niveaux des nappes phréatiques sont encore plus élevés si on les compare à la mise en œuvre d'installations individuelles (assurant une plus grande disponibilité d'eau et développant la végétation sur une zone plus vaste).

Grâce à la construction d'un grand nombre de barrages de sable (en cascades), les communautés ne sont pas dépendantes d'une seule source d'approvisionnement, ce qui limite l'impact sur l'environnement. De plus, la mise en œuvre de ces barrages (et d'autres techniques de collecte de l'eau) à grande échelle permet aux communautés de partager leurs expériences et leurs connaissances, ce qui favorise leur participation à la démarche.



Figure 4 : Prélèvement de l'eau souterraine du lit de la rivière grâce au creusement d'un trou, district de Kitui

## Conclusion

La mise en œuvre de barrages de sable permettant le stockage de l'eau dans le district de Kitui est une réussite. Elle a permis d'assurer, d'une part, l'approvisionnement en eau des communautés rurales en répondant à leurs besoins domestiques, d'autre part, la réalisation de projets d'irrigation à petite échelle.

Le fait de déployer cette technologie en construisant un grand nombre d'ouvrages (plutôt qu'un seul) présente de nombreux avantages, tant en termes de disponibilité de l'eau que de résultats socio-économiques.

Ces barrages de sable constituent en effet un processus durable qui permet de répondre aux défis croissants posés par l'eau dans les zones semi-arides en raison de précipitations plus intenses et moins prévisibles que par le passé en raison des changements climatiques.

## Extension de la démarche sur un plan transfrontalier

La réussite de la mise en œuvre de barrages de sable permettant le stockage de l'eau sur une échelle aussi grande que dans le district de Kitui (Kenya) a été une source d'inspiration pour plusieurs autres projets.

On construit maintenant des barrages de sable transrégionaux et transfrontaliers en vue de fournir de l'eau aux communautés rurales et de les aider à s'adapter au changement climatique. Un exemple de cette démarche est le projet de construction de barrages de sable mis en place au Mozambique, qui a démarré par un échange de connaissances lors d'une visite à Kitui des responsables du projet.

Une autre illustration positive est celle concernant le projet pilote de la zone de Borana (dans le sud de l'Éthiopie).

Ici, l'accent a été mis sur la recherche de l'utilisation optimale des ressources en eau disponibles dans les bassins versants en vue d'augmenter leur capacité de rétention de l'eau.

À ces fins, 10 ONG ont été formées par l'ONG kényane Sasol, la fondation Rain et Acacia Water sur le thème de l'installation de barrages de sable permettant le stockage de l'eau. L'AFD (Action For Development), une ONG éthiopienne, a réalisé des barrages de sable en faveur des communautés vivant à proximité du lit d'un cours d'eau.

Pour les communautés vivant loin d'un cours d'eau, on a procédé à la récupération des eaux de ruissellement dans des citernes souterraines. Le fait de combiner plusieurs techniques de collecte de l'eau au sein d'un bassin versant, et donc d'obtenir une utilisation maximale des ressources naturelles, s'est révélé très efficace.

Outre la construction de barrages de sable dans la zone de Borana, le projet comprenait également des formations sur le terrain et des ateliers qui ont eux-mêmes résulté en plusieurs projets indirects réalisés par les ONG participantes. Leurs actions ont permis d'obtenir le soutien nécessaire des communautés concernées et les moyens de financement permettant d'engager l'installation de barrages de sable dans d'autres régions du pays.

M. Hoogmoed (2007) : Analyses of impacts of a sand storage dam on groundwater flow and storage. (*Analyse des impacts d'un barrage de sable sur l'écoulement et le stockage des eaux souterraines*). Vrije Universiteit, Amsterdam

M. Hoogmoed (2009) : *Why build sand storage dams? An introduction to the concept*. (Pourquoi construire des barrages de sable ? Introduction au concept.) Présentation en Éthiopie pour une ONG.

J. Jansen (2007) : The influence of sand dams on rainfall-runoff response and water availability in the semi arid Kiindu catchment, Kitui District, Kenya. (*Influence des barrages de sable sur la réponse aux précipitations et ruissellements et disponibilité en eau dans le bassin semi-aride de Kiindu, district de Kitui, Kenya*). Vrije Universiteit, Amsterdam.

Lasage, Aerts, Mutiso, de Vries (2008) : *Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya*. (Potentiels existant pour une adaptation des communautés à la sécheresse : exemple des barrages de sable de Kitui, Kenya). *Physics and Chemistry of the Earth* 33 (2008). Pages 67-73

Nissen-Petersen (2006) : *Water from dry riverbeds* (L'eau provenant des lits de rivière asséchés). Agence danoise d'aide au développement (Danida).

J. Nzomo Munyao, J. Muinde Munywoki, M. Ikuthu Kitema, D. Ngui Kithuku, J. Mutinda Munguti, S. Mutiso (2004) : Kitui sand dams : Construction and operation. (*Les barrages de sable de Kitui : Construction et exploitation*). Fondation Sasol, Kenya.

Orient Quilis, Hoogmoed, Etsen, Foppen, de Vries (2009) : Measuring and modelling hydrological processes of sand-storage dams on different spatial scales. (Mesure et modélisation des processus hydrologiques relatifs aux barrages de sable à différentes échelles spatiales). *Physics and Chemistry of the Earth* 34 (2009). Pages 289-298  
*RAIN et Acacia Water (2009) : A practical guide to sand dam implementation: Water supply through local structures as adaptation to climate change*. (Guide pratique sur la mise en œuvre des barrages de sable : Comment l'approvisionnement en eau par le biais de structures locales permet-il l'adaptation au changement climatique).

Thomas (1999) : Where there is no water - a story of community water development and sand storage dams in Kitui district Kenya. (*Lorsque l'eau est absente : l'histoire du développement des ressources en eau et de la construction de barrages de sable dans une communauté, district de Kitui, Kenya*). SASOL

[www.sanddam.org](http://www.sanddam.org)

Africa Interactive (2009) : Vidéo : Sand dam training in Southern Ethiopia. (*Formation sur la construction de barrages de sable dans le sud de l'Éthiopie*). Extrait de : <http://www.thewaterchannel.tv/>

## Références

L. Borst, S.A. Haas (2006) : *Hydrology of Sand Storage Dams, A case study in the Kiindu catchment, Kitui District, Kenya*. (*Hydrologie des barrages de sable : Étude de cas dans le bassin de Kiindu, district de Kitui, Kenya*). Thèse, Vrije Universiteit, Amsterdam

C. Gijbbers (2007) : *A study to upscaling of the principle and sediment transport processes behind sand storage dams, Kitui District, Kenya*. (*Étude sur l'amélioration du principe et des processus de transport des sédiments derrière les barrages de sable, district de Kitui, Kenya*). Vrije Universiteit, Amsterdam.

# Using floods for irrigation and recharge

## Yemen

### Introduction

Les aquifères peu profonds sont souvent le meilleur endroit pour stocker les eaux de crue. Comparé au coût des réservoirs en surface, le coût du stockage des eaux de crue dans les aquifères peu profonds et les couches du profil pédologique est minime. L'évaporation y est très faible et l'eau peut être réutilisée immédiatement ou à un moment opportun – sans perte due au transport. Évidemment, la capacité de stockage varie selon la nature des aquifères.

Cette solution présente également un autre avantage. En cas d'exploitation intensive des eaux souterraines, la capacité effective de stockage des eaux de crue dans l'aquifère superficiel augmentera, car les couches supérieures ne seront plus saturées.

Il en résultera que, soit il n'y aura pas de crues, soit celles-ci auront lieu plus tard dans la saison des crues et seront moins fréquentes.



Figure 1: Irrigation par épandage à Tihama

### Description

L'un des meilleurs exemples d'une solution combinant le stockage des eaux de crue, la recharge et l'agriculture, concerne les systèmes dits d'irrigation par épandage. Ces systèmes ont une longue histoire dans plusieurs régions arides, au Pakistan, en Iran, en Afrique du Nord, au Soudan et au Yémen.

Ils progressent dans la corne de l'Afrique et dans d'autres parties du continent africain. L'irrigation par épandage est en effet une solution fondamentale pour l'adaptation aux événements climatiques extrêmes.

Sa caractéristique centrale est liée au fait qu'elle utilise des crues de courte durée provenant de précipitations épisodiques dans les bassins versants des hauts plateaux. Ces crues – durant de quelques heures à quelques jours – sont détournées des lits asséchés des rivières et leurs eaux épandues lentement sur les terres.

L'eau est utilisée dans l'agriculture, et permet souvent de préserver l'humidité des sols, les crues survenant généralement bien avant la saison des travaux agricoles. Les eaux de crue sont également utilisées pour remplir des bassins d'eau, pour améliorer les grands pâturages et les peuplements d'arbres et pour la recharge.

Ces systèmes d'irrigation sont entourés de toute une organisation sociale et nécessitent la construction d'ouvrages locaux de détournement capables de résister à des crues subites et de conduire doucement d'abondants volumes d'eau sur de vastes zones, afin de freiner l'érosion. Au Yémen, les zones irriguées par épandage situées sur les côtes de la mer Rouge (Tihama) et de l'Océan indien sont les greniers à grains du pays (Voir la figure 1).

C'est dans ces régions que la productivité de l'agriculture est la plus forte. La productivité élevée de l'eau provient de l'utilisation combinée des eaux de crue et des eaux souterraines, les eaux servant à l'irrigation étant la principale source de recharge.

Dans les plaines côtières du Yémen, les eaux souterraines sont pour l'essentiel de bonne qualité et peuvent donc être facilement réutilisées. Les systèmes d'irrigation par épandage aident donc au développement non seulement des zones extensives de cultures vivrières et d'un important cheptel, mais également d'une horticulture à forte valeur ajoutée, notamment de vergers de bananiers et de manguiers.

Aujourd'hui, on a même atteint un stade où la surconsommation d'eau souterraine est devenue un problème préoccupant.

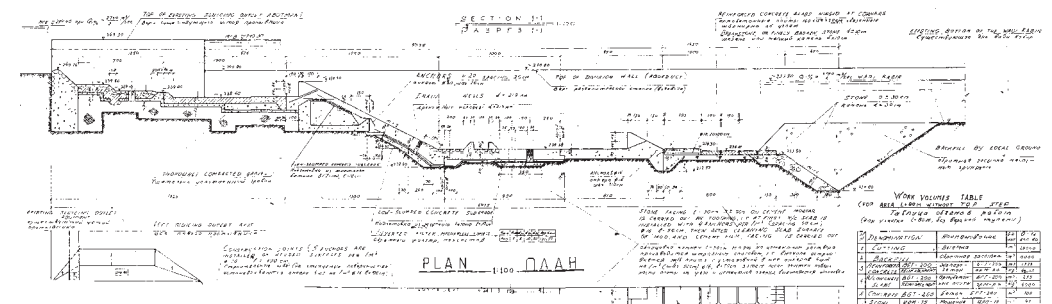


Figure 2 : Le barrage de Ras Al Wadi avec l'emplacement des barbacanes

## Techniques utilisées

Dans l'irrigation par épandage, l'essentiel de la recharge a lieu par l'intermédiaire du lit des rivières. La recharge provenant des eaux de crues et des terres agricoles est aussi importante, mais moins significative.

Il existe divers moyens permettant de favoriser une recharge efficace. L'un d'eux consiste à armer le lit de la rivière. La présence de grands blocs et pierres ralentissent le débit des crues et améliore le réapprovisionnement des eaux souterraines.

Une deuxième action consiste à construire des structures qui ralentissent l'écoulement de l'eau. Ces installations sont des ouvrages de détournement courants pour l'épandage, mais dans certains oueds du Yémen, tels que l'oued Hadramawt, les agriculteurs ont même construit des barrages peu élevés sur l'oued pour augmenter la recharge.

Depuis les années 1980, un certain nombre de structures permanentes (en béton) de dérivation ont été construites sur une partie des rivières les plus éphémères de la côte du Yémen.

Ces ouvrages ont été établis pour dériver les crues vers les terres, mais certains – par exemple celui de Wadi Mawr ou de Wadi Siham – ont accidentellement bloqué l'écoulement souterrain.

Ces barrages ont pénétré dans le socle rocheux ou dans les couches argileuses situées sous la rivière. Ils avaient donc l'effet non recherché d'augmenter les niveaux des nappes souterraines en amont des barrages, et en même temps de causer des difficultés aux utilisateurs situés en aval.

Une bien meilleure conception de barrage séparateur fut utilisée à Wadi Tuban, où des ouvertures, dites barbacanes, ont été opérées dans le corps même du barrage.

Ces trous permettent au flux souterrain de s'écouler par le barrage. Des écoulements substantiels en sortent, permettant aux puits de l'aval de continuer de fonctionner. Grâce à ces trous, on peut construire une structure relativement légère. Les barrages de Wadi Tuban sont plutôt minces, ce qui permet de réaliser des économies importantes. S'il n'y avait pas de drainage souterrain, les barrages devraient être beaucoup plus lourds pour les empêcher de « dériver ».



Figure 3 : Eau émergeant des trous ou barbacanes

En dehors de ces structures modernes, des ouvrages traditionnels – murets et déflecteurs de terre et de gravier – fonctionnent également très bien.

La construction de ces structures représente généralement un coût très inférieur à celui des ouvrages modernes. Alors qu'une installation fournie avec des ouvrages de dérivation modernes en béton coûte entre 500 et 1 800 euros par habitant, les structures traditionnelles coûtent moins de 250 euros (par habitant).

Dans de nombreuses régions, elles fonctionnent d'ailleurs mieux : fournissant un plus grand nombre d'options pour détourner les eaux de crue, elles ne perturbent pas les droits d'utilisation et, en raison de leur capacité à faire une brèche en cas de fortes crues, elles sont mieux équipées pour maintenir de fortes crues très chargées en limons – et potentiellement dangereuses – en dehors de la zone de commande. Des crues moins importantes peuvent cependant être utilisées.

## Références

F. Van Steenberghe, P. Lawrence, A. Maher Salman  
Mehari Haile (à paraître) : Spate Irrigation Guidelines  
(Lignes directrices pour l'irrigation par épandage).  
FAO, Rome.

[www.spate-irrigation.org](http://www.spate-irrigation.org)

# Détournement des crues de courte durée vers les bassins d'infiltration dans des zones très arides

## Niger

### Introduction

La recharge des eaux souterraines par le détournement contrôlé des crues peut sauvegarder et améliorer les conditions de vie des populations, y compris dans les zones très arides.

En effet, le recours à des ouvrages de détournement peu onéreux et à des bassins d'infiltration dont l'emplacement est soigneusement choisi permet dans ces régions de satisfaire les besoins en eau à usage domestique, d'abreuver le bétail et de disposer de systèmes locaux d'irrigation.

Ces solutions rendent donc possible l'établissement de populations, y compris dans les zones où les conditions climatiques sont les plus fragiles.

### Description

L'oasis d'Iférouane est située dans les montagnes Aïr dans le centre du désert du Sahara. Il se trouve à 1000 km au nord de Niamey, la capitale du Niger (Figure 1). Enregistrant des précipitations inférieures à 50 mm par an, Iférouane est une zone extrêmement aride, d'autant qu'à certaines périodes, cette moyenne, pourtant basse, n'est même pas atteinte. Par exemple, dans la période située entre 1940 et 1975, la pluviosité annuelle n'a pas dépassé 20 mm dans cette partie du Sahel.

Dans l'oasis, les besoins en eau relatifs à des fins domestiques et agricoles sont satisfaits grâce à l'utilisation de puits ouverts traditionnels.

Ceux-ci sont creusés dans les sédiments quaternaires de la vallée de la rivière où sont intercalés des matériaux limoneux. Les puits sont profonds de 20 mètres. À une profondeur de 10 mètres environ en-dessous de la couche de sédiments quaternaires, on trouve également un socle de granit/gneiss contenant de l'eau. La conductivité hydraulique de la partie sableuse du système de l'aquifère est de 3 à 5 mètres par jour (m/d).

Jusqu'en 1975, ce tampon d'eaux souterraines était uniquement rechargé par l'infiltration occasionnelle des eaux de surface au travers du lit sableux de la rivière locale Kori Tamgak, pendant les courtes périodes de crues. En 1974, après plusieurs années de très grande sécheresse, la nappe



Figure 1: Location of Iférouane in Niger

souterraine baissa et de nombreux puits furent asséchés. Il ne fut donc plus possible d'irriguer qu'un quart des jardins et l'on fut contraint d'abandonner les autres. La survie de l'oasis était menacée.

### Techniques utilisées

Diverses recherches hydrogéologiques – mesures du ruissellement, surveillance des eaux souterraines, tests d'infiltration des sols, modélisation numérique notamment – furent menées afin d'identifier la meilleure méthode susceptible d'améliorer la situation des eaux souterraines de la région.



Figure 2: Des divers travaux de construction

Parmi les scénarios envisagés, la recharge artificielle des eaux souterraines par le détournement des eaux du Kori Tamgak dans un bassin d'infiltration fut considérée comme la solution la mieux adaptée. Ce bassin d'infiltration a été établi en amont de l'oasis, dans une zone où les tests d'infiltration ont montré la présence de matériaux sableux à graviers très perméables. On y avait aussi identifié la présence d'affleurements rocheux susceptibles de fournir des matériaux de construction pour les travaux de détournement des inondations.

En 1975, un barrage fut construit à peu de frais sur cette rivière saisonnière. Les travaux de détournement consistèrent à construire un massif de soutènement, un canal de dérivation, des murs de protection et des mini-épaves contre l'érosion due aux inondations (Figure 2).

Les faibles crues du Kori Tamgak – en-dessous du niveau du seuil – sont détournées vers le bassin d'infiltration, alors qu'on laisse les fortes crues occasionnelles – susceptibles de causer des dommages et d'apporter des sédiments dans le bassin d'infiltration – s'écouler au-dessus du massif de soutènement et suivre le lit originel de la rivière (Figure 3).

### Impact

Il s'ensuivit que les nappes souterraines se mirent à s'élever immédiatement après la construction des structures de dérivation. En 1976, après une période de précipitations relativement « importantes » (60 mm), l'infiltration supplémentaire provoqua une remontée spectaculaire du niveau des eaux souterraines. Durant cette année, 13 % des crues déversées dans le Kori Tamgak de 5,7 millions de m<sup>3</sup> furent acheminés vers le tampon souterrain au travers du bassin d'infiltration. On voit sur le diagramme la montée du niveau des eaux souterraines sur les puits adjacents au bassin d'infiltration.

Au cours des trente dernières années, la situation des eaux souterraines n'a cessé de s'améliorer, permettant de créer des conditions d'existence meilleures et favorisant le développement d'une agriculture durable. Alors qu'une centaine de personnes seulement vivaient à Iférouane en 1974, la population est passée de 1000 habitants en 1984 à 3000 habitants permanents vingt ans plus tard.

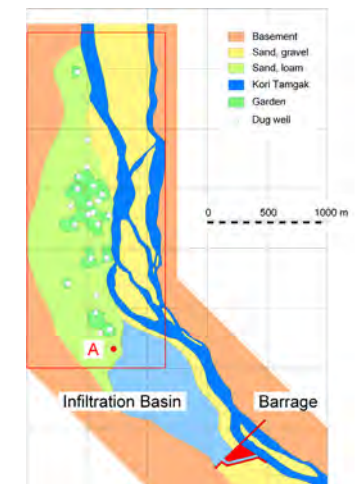


Figure 3: Aperçu schématique de la zone après la construction du barrage

(Paschen, 2004). Aujourd'hui, les légumes produits à Iférouane sont vendus à l'exportation. Les recherches hydrogéologiques et géologiques et techniques réalisées ont permis de développer un concept de barrage à seuil peu élevé et de bassin d'infiltration.

La décision, consistant à construire le bassin d'infiltration dans des conditions d'extrême sécheresse dans l'oasis, s'est trouvée ultérieurement confortée par les modèles numériques, qui permirent de prévoir les effets futurs sur la nappe phréatique.

En utilisant de manière effective le tampon constitué par les eaux souterraines, la vie à Iférouane est passée d'une situation de pure survie à un environnement de croissance et de développement.



Figure 4 : Eaux de crue pénétrant dans le bassin d'infiltration

## Références

GKW (1974) : Technische Hilfe für République du Niger : Arbeitsintensive Infrastrukturvorhaben (Assistance technique fournie à la République du Niger : Projets d'infrastructures basés sur un fort investissement humain) ; Gesellschaft für Klar-anlagen und Wasserversorgung mbH, Mannheim.

E. Böckh, A. Kleine Bornhorst, G. Schmidt (1975) : Arbeitsintensive Infrastruktur-Vorhaben in Niger, Iférouane et Timia im Aïr, Niger ; (Projets d'infrastructure basés sur un fort investissement humain, Niger, Iférouane et Timia im Aïr) ; BGR, Hannover, Archives no 67 668 et 67 669.

E. Böckh, G. Schmidt (1984) : Arbeitsintensive Infrastruktur-Vorhaben in Niger ((Projets d'infrastructure basés sur un fort investissement humain, Niger) ; BGR, Hannover, Archive no 96 429.

G. Schmidt (2002) : Methoden der Grundwasser-Ressourcen Quantifizierung (Méthode de quantification des ressources en eau souterraines, Iférouane) ; BGR, Hannover, Archive no 122 069.

H. Paschen (2004) : Trockenmauern in den Oasen des Aïr Gebirges ; Bischwiller, France.

# Recherche d'alternatives à l'extraction du sable du lit des rivières

## Inde - Sri Lanka



Figure 1 : Érosion de la berge de la rivière Kelani due à l'extraction du sable. Un conduit d'approvisionnement en eau à usage domestique situé sous la route a été endommagé et l'approvisionnement en eau de la ville a été perturbé pendant plusieurs jours. (Photo : Badra Kamaladasa, ministère de l'Irrigation du Sri Lanka)

## Introduction

Le sable est une ressource précieuse et un matériau essentiel pour le secteur de la construction. Avec l'urbanisation galopante, la demande de sable a, dans de nombreuses régions, connu une forte croissance. Le sable des cours d'eau est souvent de haute qualité, ce qui explique que l'on procède à des prélèvements intenses pendant les périodes de bas débit. Néanmoins, ce processus d'extraction de sable et graviers nécessite le creusement du lit de la rivière jusqu'au niveau des couches argileuses ou des matériaux rocheux présents.

Il en résulte que la rivière perd sa capacité de stockage des eaux de crue et que l'interaction hydrologique existant entre la surface et les eaux souterraines s'en trouve altérée.

Les puits ne sont plus alimentés et les crues ne peuvent plus être absorbées par le lit des rivières. La hausse du gradient hydraulique dans les terres adjacentes fait baisser le niveau des eaux souterraines et les puits sont asséchés.



La fonction de tampon s'en trouve diminuée et la vulnérabilité de certaines zones aux événements climatiques extrêmes s'accroît.

Mais il y a d'autres effets. Le lit de la rivière s'abaissant, les entrées d'eau pour l'irrigation peuvent être asséchées, les fondations des ponts deviennent instables et le débit de base est réduit, entraînant la pénétration d'eau salée et l'assèchement des puits et des zones naturelles en raison de la profondeur accrue des nappes phréatiques (Gunaratne et Jayasooriya, 2005 ; Piyadasa et Naverathna, 2006).

Il convient de trouver des solutions alternatives à cette extraction incontrôlée de sable et graviers du lit des rivières situées à proximité des cités connaissant un rapide développement.

## Description

Kerala est une région très affectée par l'exploitation du sable (Hemalatha et coll., 2006). L'extraction de sable non réglementée a eu pour conséquence que le deuxième cours d'eau de l'État, la rivière Bharathapuzha, d'une longueur de 209 km, a perdu la majeure partie des matériaux composant ses berges.

Cela a entraîné l'assèchement des puits qui y sont situés, et nécessite, pendant une partie de l'année, de devoir importer de l'eau potable dans la région.

L'absence dans la rivière d'une bande de sable permettant de stocker les eaux d'orage a causé des pics de crues plus élevés lors des précipitations et l'apport de sel d'eau de mer venant de l'Océan Indien. Dans le Bharathapuzha, la fonction tampon a disparu, de même que la capacité de faire face à des événements climatiques extrêmes – qu'il s'agisse de crues ou de longues périodes de sécheresse.

Diverses mesures ont été annoncées par les autorités locales en vue de plafonner l'exploitation de sable :

- Réduire le moment où l'extraction peut avoir lieu à la période 6h00 – 15h00 ;
- Empêcher les camions de stationner à moins de 25 m des berges ;
- Autoriser l'extraction exclusivement dans certaines zones définies ;
- Définir une charge maximum susceptible d'être extraite par jour et par licence.

Le respect de ces règles est cependant difficile à obtenir. La volonté politique manque et le lobby du secteur de la construction est puissant. Par ailleurs, des sommes importantes sont en cause dans ce secteur. Les mineurs peuvent gagner jusqu'à 15 euros par jour. Quant au prix d'un chargement, il varie entre 15 et 50 euros, mais peut atteindre 90 euros pendant la mousson, période où l'extraction du sable est particulièrement difficile.



Figure 2. Sand pit of 10 meter in Uttara pinakini river bed, Karnataka, 2003 (Hemalatha, A.C. et al. 2005)

## Remèdes possibles

Il existe diverses pratiques susceptibles d'éviter les effets nuisibles liés à l'exploitation du sable. Certaines d'entre elles peuvent même renverser la tendance de la baisse des eaux souterraines et stimuler leur recharge.

- Sur un plan général, l'extraction de sable et de graviers devrait être réglementée. L'exploitation pourrait même être placée sous le contrôle d'un conseil de production central. Au Sri Lanka, par exemple, le Bureau des Mines et du contrôle géologique (Geological Survey & Mines Bureau - GSMB) contrôle le marché, tout en veillant à ne pas le dominer totalement. En fournissant suffisamment de sable au secteur de la construction, il permet d'éviter que ce soit la « mafia du sable » qui contrôle les prix ;
- Pour une exploitation des sables à petite échelle, il est possible de constituer des comités locaux qui gèrent la collecte et s'assurent qu'elle est faite dans le respect des principes de durabilité.
- Chaque cours d'eau comporte des zones d'érosion, de transport et de sédimentation, de telle sorte que les zones appropriées pour les pratiques d'extraction du sable sont facilement identifiables.
- Si des quantités limitées de sable sont récoltées, elles sont ensuite remplies lors de crues importantes ultérieures. Il a également été proposé d'utiliser des barrages de sable pour la collecte de sable.
- Si la couche sableuse supérieure est retirée avec précaution et non excavée dans des fosses (ce qui aurait pour effet de remplir le barrage de sable de fins dépôts d'argile lors des crues ultérieures), les barrages de sable peuvent continuer de fonctionner et une certaine quantité de sable peut être recueillie chaque année ;
- Les grandes exploitations commerciales devraient utiliser des sources alternatives sûres, telles que ressources off-shore, déserts, poussières de carrières, dépôts rocheux et vieux dépôts de sable « loin de la rivière ». L'impact environnemental de telles sources doit être examiné ;



Figure 3 : Pont ferroviaire fréquemment réparé en raison de l'exploitation de sable sur la rivière Uttara Pinakini à Gauribidanur taluk, Karnataka, 2002. (Hemalatha, A.C. et coll. 2005)



Figure 4 : Protestation du public contre les activités d'exploitation du sable dans la ville de Gauridanur, 2002. (Hemalatha, A.C. et coll., 2005)

- En dehors de l'extraction de sable, les sablières peuvent aussi avoir une seconde vie comme bassins de recharge. Si elles ont un emplacement stratégique et sont approvisionnées par des cours d'eau et des rivières saisonnières, elles peuvent se remplir d'eau de ruissellement et recharger les eaux souterraines. Il convient néanmoins d'être prudent, car de tels bassins ne s'emplissent pas de sédiments fins, ce qui rend difficile l'infiltration des eaux pluviales et des eaux de ruissellement. Il convient également de veiller à éviter que les sablières se transforment en « décharges », ce qui aurait des effets négatifs sur la qualité de l'eau souterraine

Les sommes importantes en cause dans l'exploitation du sable doivent permettre de financer une meilleure gestion des bassins tampons. Il existe différents types de sables ayant des caractéristiques et des usages différents, dans le secteur de la construction et ailleurs.

Le tableau ci-dessous donne une idée des prix des sables vendus sur le marché international. Ce facteur constitue à la fois une opportunité et une menace.

Sable	Teneur en minéraux	Usage industriel	Production mondiale (en tonnes métriques)	Prix (Euro/ton)
Silica	95%	Fabrication du verre	126,000,000	22
Zircon	1-50	Abrasifs et isolation	1,240,000	635
Ilmenite	10-60	Production de titane	4,800,000	58
Rutile	5-25	Production de titane	360,000	385

## Références

L.H.P. Gunaratne et K.A.S.P. Jayasooriya (2005) : River sand mining in Sri Lanka : trade-off between private profitability and environmental costs (*L'exploitation du sable dans les rivières au Sri-Lanka : compromis entre la profitabilité et les coûts environnementaux*).

A.C. Hemalatha, M.G. Chandrakanth et N. Nagaraj (2005) : Effect of sand mining on groundwater depletion in Karnataka (*Effets de l'exploitation du sable sur la diminution des eaux souterraines*), dans : V International R&D Conference of the central board of irrigation and power, Bangalore, 15-18 février 2005.

C. Navaratne (2009) : Negative impacts of unregulated, illegal river sand mining on livelihood, human well being, domestic water supply sectors and agriculture (*Les effets négatifs de l'exploitation non réglementée et illégale du sable des rivières sur les moyens d'existence, le bien-être des personnes, les secteurs de l'approvisionnement en eau à usage domestique et l'agriculture*) ; NetWater, présentation au 5e Forum mondial de l'eau, Istanbul, Turquie.

R.U.K. Piyadasa et C.M. Naverathna (2006) : River Sand Mining in Southern Sri Lanka and its Effect on Environment. (*L'exploitation du sable des rivières dans le sud du Sri Lanka et ses effets sur l'environnement*). Rapport extrait en juin 2009 de : <http://www.riversymposium.com/index.php?element=PIYADASA>

M. Sayami et N.K. Tamrakar (2007) : Status of sand mining and quality in northern Kathmandu, Central Nepal; (*Situation de l'exploitation du sable et de sa qualité dans le nord de Kathmandu, centre du Népal*), dans : Bulletin of the Department of Geology, Vol. 10, p. 89-98.

# Barrages souterrains interceptant les eaux souterraines pour les stocker

## Brésil

Les barrages souterrains (de subsurface ou souterrains) sont des barrages faits dans la couverture alluviale pour intercepter l'écoulement des eaux souterraines à la sortie de cette zone, afin de constituer une réserve locale d'eau disponible pendant les périodes de sécheresse (Figures 1 et 2). Lorsque la géologie et l'écoulement des eaux souterraines le permettent, les barrages de subsurface sont un moyen efficace et peu onéreux de captage et de stockage des eaux souterraines aux fins d'utilisation durant les périodes sèches.

On trouve de tels barrages – différant certes en taille et en nombre – dans de nombreux pays. Le présent cas concerne le Brésil, mais illustre bien les caractéristiques générales inhérentes à la construction et aux performances de tels ouvrages.

### Description

Dans les années 1990, environ 500 barrages souterrains ont été construits dans la « couverture alluviale » dans l'État du Pernambuco, situé dans le nord-est du Brésil. Le programme comprenait :

- De petits ouvrages (jusqu'à 3 m de profondeur), construits dans le cadre des « Programmes gouvernementaux d'urgence pour lutter contre la sécheresse et créer des emplois » sur des sites sélectionnés par les comités municipaux, sans conseil technique ni suivi. Ces ouvrages furent creusés manuellement, et on y incorpora des membranes plastiques et de grands puits circulaires en béton.
- Des ouvrages de même taille construits à l'initiative d'ONG locales, avec les conseils de spécialistes, et remplis d'argile compacte et sans puits pour la collecte de l'eau ;
- De plus grands barrages (allant jusqu'à 10 m de profondeur), dont l'emplacement fut choisi en se basant sur des critères techniques, construits pour favoriser l'irrigation des petites exploitations agricoles. Pour ces barrages, on a utilisé des excavateurs mécaniques et incorporé des membranes étanches en matière plastique et de larges puits intégrant des éléments de suivi technique.

### Techniques utilisées

Les barrages souterrains constituent des barrières imperméables (en argile, en maçonnerie ou en béton) qui obstruent l'écoulement souterrain. L'eau souterraine peut ainsi être prélevée dans des puits, des points de captage ou un drain collecteur (Figure 1). Les petits barrages ont en général une capacité de stockage d'environ 10 000 m<sup>3</sup> (et ont en moyenne 4 m de profondeur, 50 m de largeur et 500 m de longueur). Les barrages plus importants (comme par exemple au Yémen) peuvent atteindre 5-10 m de profondeur, 200-500 m ou plus de largeur, et avoir une capacité de stockage de 100 000 m<sup>3</sup> à un million de m<sup>3</sup>.

Il est important, lors de la construction d'un barrage souterrain, que celui-ci repose sur un soubassement imperméable. La construction de plusieurs barrages en cascade augmente le volume total des eaux souterraines stockées et limite les effets des fuites. Dans les régions rurales, la participation des communautés est essentielle pour obtenir un maximum d'avantages socio-économiques. Par exemple, la main d'œuvre fournie par la communauté a pour effet d'en réduire le coût et d'améliorer l'efficacité, la réception et la durée de vie des barrages (Figure 3).

### Résultats et impacts

En 2002, une équipe de la Banque mondiale a procédé à l'évaluation de l'utilisation et de la performance des barrages souterrains.

L'évaluation, qui a porté sur 150 barrages, a montré que :

- 50 % des barrages inspectés au Brésil étaient utilisés activement et de manière polyvalente pour l'approvisionnement d'eau à usage domestique, l'abreuvement du bétail et l'irrigation à petite échelle.
- Environ un tiers n'étaient pas en fonction, en raison de problèmes liés à l'emplacement ou à leur construction.
- Plus de 10 % fonctionnaient bien, mais les eaux souterraines stockées n'étaient pas utilisées, en raison de la disponibilité d'une source fiable d'eau de surface. Une telle situation met en évidence l'importance que revêt l'implication des communautés dans de tels projets, notamment pour discuter des besoins de chaque communauté concernée.

Le montant des coûts d'investissement relatifs aux barrages souterrains dépend de leur taille. Il varie de 3 500 à 7 000 euros pour les petits barrages, et peut atteindre 70 000 euros pour les grands barrages comportant une capacité de stockage de 100 000 m<sup>3</sup> à un million de m<sup>3</sup>. Le coût d'investissement par m<sup>3</sup> stocké est de l'ordre de 0,35 à 1,4 euro/m<sup>3</sup>.

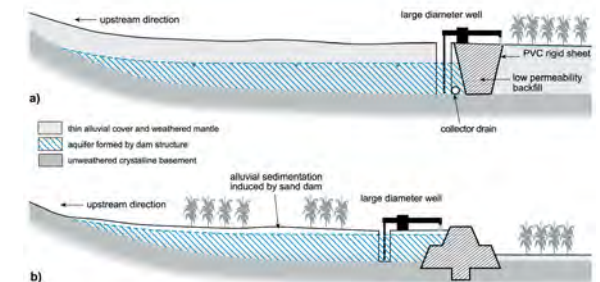


Figure 1: Profil typique d'un barrage souterrain (Source : GWMATE)

L'évaluation de la situation au Brésil a mis en évidence les facteurs clés dont dépend la réussite de la construction de tels barrages :

- Choix d'un emplacement approprié afin d'assurer un potentiel de stockage suffisant ;
- Assurance de l'existence d'une profondeur suffisante pour atteindre un soubassement relativement imperméable ;
- Présence d'un type de sol ayant une capacité d'infiltration suffisante ;
- Exclusion de types de sols pouvant entraîner une salinisation des eaux souterraines ;
- Conception et construction adaptées, afin d'éviter d'avoir des puits de captage à faible rendement ;
- Gestion de la question de la propriété du terrain.

## Conclusion

Les barrages souterrains constituent un moyen économique de stocker de l'eau à des fins polyvalentes pendant les périodes de sécheresse.

Les principaux avantages qu'ils présentent sont les suivants :

- Les pertes dues à l'évaporation sont très inférieures à celles provenant d'une eau restant en surface ;
- La prolifération d'insectes et de parasites tels que moustiques et bilharzie est évitée ;
- La contamination de l'eau stockée, qu'elle soit d'origine humaine ou animale, est très nettement diminuée, notamment parce que l'on utilise un puits et une pompe manuelle pour prélever l'eau, ce qui constitue un procédé hygiénique et contrôlé.

Les barrages souterrains à grande échelle peuvent fournir de l'eau pour des actions d'irrigation engagées à petite échelle pendant la saison sèche, ce qui permet aux populations – outre de disposer d'eau à usage domestique – de générer des revenus.

Les principaux facteurs conditionnant le succès de petits barrages sont les suivants : le facteur humain (participation de la communauté et appropriation du projet), sélection méticuleuse de l'emplacement et recours à des techniques de construction et à des matériaux disponibles localement. Une implication réussie de la communauté et de la main d'œuvre locale est largement favorisée par la fourniture de manuels et de lignes directrices consacrés au sujet (Figure 3).

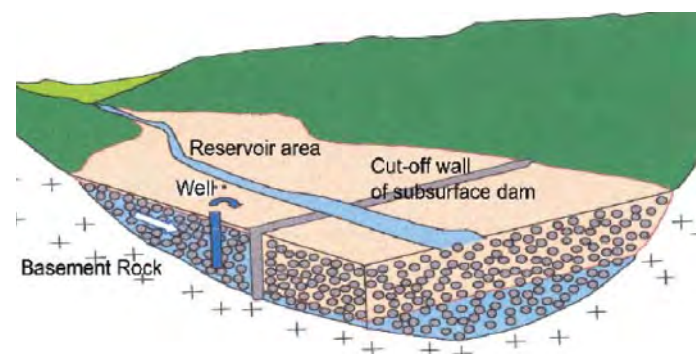


Figure 2 : Schéma conceptuel d'un barrage souterrain (Source : Vétérinaires sans Frontières, 2006)

## Références

GWMATE/Banque mondiale (2004) : Brazil, Kenya : Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence (Brésil, Kenya : Des barrages souterrains pour augmenter le stockage des eaux souterraines dans le sous-sol pour favoriser les moyens de subsistance des populations) ; GWMATE Case Profile series number 5 ([www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)).

Vétérinaires sans Frontières / Belgium Development Cooperation (2006) : Subsurface Dams a simple, safe and affordable technology (a manual for sub surface dam construction in Turkana District, Kenya). *Les barrages souterrains, une technologie simple, sûre et abordable (manuel sur la construction d'un barrage souterrain dans le district de Turkana, Kenya).*

Les barrages souterrains : une technologie simple, sûre et abordable pour les éleveurs

Manuel sur les barrages souterrains, basé sur une expérience de Vétérinaires Sans frontières dans le district de Turkana [Kenya]

Septembre 2006

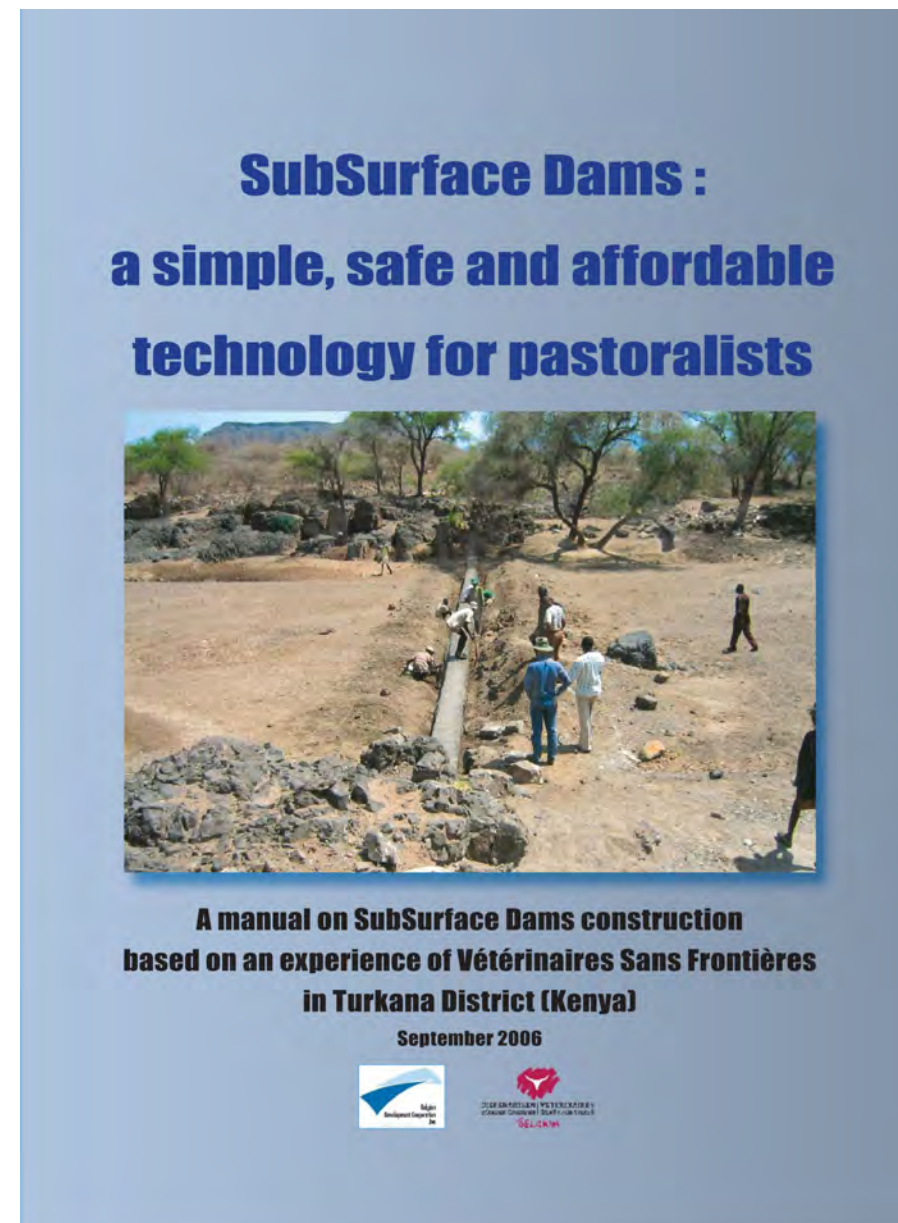


Figure 3 : Exemple d'un manuel traitant des barrages souterrains (Source : Vétérinaires sans Frontières, 2006)

# Retenue de l'eau dans des zones très humides

## Nord du Bengale, Inde

### Introduction

On prétend parfois que là où les ressources en eau sont abondantes, leur gestion ne s'impose pas. Cette affirmation n'est pas exacte. La gestion de l'eau dans les régions humides est aussi importante que partout ailleurs. En général, la principale saison de cultures y dépend totalement des précipitations.

Une arrivée tardive des pluies ou la survenance de périodes inhabituellement sèches durant cette saison peut être fatale pour les récoltes. Le changement climatique est susceptible de rendre la saison humide plus irrégulière et de retarder le début des pluies.

La retenue de l'eau est susceptible de fournir un moyen d'adaptation à de tels changements climatiques. La gestion des eaux souterraines est donc importante dans les zones humides, car elle permet de préserver l'humidité des sols et de fournir des moyens d'irrigation supplémentaires.



Figure 1 : Érosion en ravines perturbant l'humidité des sols

Dans la région du Terai, située dans le nord du Bengale, en Inde, un grand nombre de mesures ont été prises aux fins de recharger et de retenir les eaux souterraines. Le Terai s'étend sur un vaste territoire qui borde la région de l'Himalaya - du Népal à l'Assam. Les précipitations fluctuent entre 2 200 mm et 3 500 mm et sont presque entièrement concentrées sur une période de cinq mois. Les sols sont généralement de texture grossière en raison de leur proximité de la chaîne de l'Himalaya. Les sols limoneux ne se trouvent que dans les couches supérieures. La principale culture est celle du riz Amon, très dépendante des précipitations.

Une des conséquences de l'existence de sols grossiers est le fait que l'excédent de pluies y est relativement rapidement absorbé, disparaissant en quelques jours, en particulier au début de la mousson, lorsque les sols ne sont pas encore complètement saturés d'eau. La majorité des terres à basse altitude ne sont que très temporairement inondées et de larges volumes d'eau sont évacués par le biais de ravines ou par écoulement dans la nappe.

En améliorant les systèmes de drainage, il est possible de ralentir les ruissellements, de retenir l'eau, de favoriser la recharge et d'éviter l'affouillement. Pour ce faire, on a recours à une série de mesures d'aménagement du paysage visant à ralentir la vitesse des ruissellements, à épandre l'eau sur de plus grandes surfaces, et à éviter un drainage de surface profond. Ces mesures 3R visent deux objectifs :

- Elles réduisent le débit de l'écoulement et des ruissellements. Cela permet d'éviter la perte de terres arables fertiles et l'affouillement en profondeur des ravines de drainage ;



Figure 2 : Construction d'un bassin tampon dans une ravine pour assurer la retenue des eaux souterraines

- Elles permettent de retenir la nappe souterraine à un niveau élevé, améliorant la fiabilité de la culture du riz, qui est par essence une culture pluviale. C'est la différence essentielle qui existe avec l'amélioration des bassins versants dans les régions sèches. Dans les régions humides, l'objectif est d'éviter un drainage excessif à partir des ravines, de ralentir les ruissellements et de retenir les eaux souterraines à un niveau élevé, alors que dans les bassins versants secs, l'infiltration des eaux de ruissellement constitue un objectif majeur.

### Techniques utilisées

Les principales mesures comportent quatre éléments :

- Colmatage des ravines : Il se fait en bloquant les ravines au moyen de murs de terre ou en construisant de petits barrages déversoirs dans les drains naturels. Ce colmatage permet de contenir et de répandre les eaux de ruissellement. Il évite la baisse de niveau des nappes souterraines locales grâce à la présence de ravines profondes dans les sols sableux bien drainés ;
- Murs en gradins et murs de protection : utilisés dans des zones où le retrait et la retenue de larges quantités d'eau revêtent une importance capitale. On les construit en série, et ils servent à épandre l'eau ou à retarder son écoulement et empêchent la formation de ravines, la baisse de la nappe souterraine et l'assèchement de la zone phréatique. Alors que la pente naturelle du

sol est de 2 % à 4 % dans le nord du Bengale, les murets en gradins visent une pente de 0,2 % à 0,4 %. Cela permet de disposer d'eau à une vitesse sans effets érosifs. Les murets en gradins sont placés pour former un angle faible avec les courbes de niveau. La hauteur des murets dépend de la pente du sol et de la zone qui doit être inondée. Cette zone de retenue ne doit pas excéder 15 cm de profondeur. En ce qui concerne la déclivité du sol dans la zone, on peut considérer de manière empirique que les murets ont en général 60 cm de haut. Leur pente ascendante est habituellement de 2:1 et leur pente descendante est de 1:1. Enfin, ils acheminent l'eau vers les canaux et les drains de diversion ;

- Murets limitant les champs – la construction de murets évite que l'eau ne jaillisse d'un champ à l'autre et permet au contraire qu'elle remplisse un bassin avant de se déverser correctement vers le bassin suivant. Ces murets ont en général une hauteur de 60 cm avec une pente de 1:1 des deux côtés. Comme d'autres ouvrages en terre, ils sont de préférence faits au milieu de la saison sèche pour qu'ils puissent se consolider sous l'effet des déplacements humains et du passage des animaux et être suffisamment résistants avant le début de la nouvelle mousson ;



Figure 3. Planification de la gestion des bassins tampons locaux dans le nord du Bengale, Inde (Photo: R. Soppe, 2002)

- Murs de protection – construits le long des rivières et des ravines. Les murs de protection ont deux fonctions : d'abord, prévenir les crues incontrôlées des cours d'eau ; ensuite, éviter que d'importants volumes d'eau ne s'accumulent trop rapidement dans les rivières et les ravines.

## Impact

Les effets de ces mesures de retenue d'eau peuvent être très importants. Une évaluation de plusieurs sites où de telles améliorations de la gestion des ressources en eau ont été entreprises (Kundu et Soppe, 2002) fait état de rendements très élevés obtenus, par rapport à la modeste (70 euros/ha) des sommes investies :

- Augmentation de plus de 40 % de la proportion moyenne des terres cultivées sur chaque site ;
- Durant les périodes sèches de la mousson, la disponibilité de l'eau dans le sol est passée de 2 jours à près de 11 jours en raison du contrôle très strict des nappes phréatiques. Les interventions ont aussi réduit l'érosion du sol et progressivement augmenté la capacité de retenue des eaux, notamment par le développement du contenu organique des sols ;
- En moyenne, la valeur brute de la production a plus que quadruplé – elle était de 280 euros/ha en moyenne après l'adoption des mesures concernant la recharge et la retenue ;
- La valeur des terres a augmenté, passant de 480 euros/ha à 910 euros/ha.

## Références

R.S. Despande et B.K. Dey (1999) : In response to nature's challenges: an assessment of the soil conservation projects of NBTDP (*Réponse aux défis de la nature : évaluation des projets de conservation des sols du NBTDP*) Jalpaiguri : North Bengal Terai Development Project.

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

N. Mahapatra (2002) : Wet Watershed Management Guide. Water Harvesting and Soil Conservation in High Rainfall Areas (*Guide de gestion des bassins versants humides – Collecte de l'eau et conservation des sols dans des zones très pluvieuses*) ; Jalpaiguri : NBTDP - North Bengal Terai Development Project.

# Banque de l'eau » créée avec le surplus des eaux de surface

## Namibie

### Introduction

Grâce au stockage des eaux de surface dans les aquifères, il est possible de constituer une banque de l'eau en combinant trois éléments – recharge, retenue et réutilisation.

L'eau se trouvant en excédent dans les réservoirs de surface est stockée dans les aquifères – permettant de faire un pont entre les années à fortes précipitations (lorsqu'il y a un excédent à stocker) et les années de sécheresse – ce qui permet au système d'approvisionnement en eau de résister à la variabilité du climat et, à plus long terme, au changement climatique.

### Description

Windhoek, la capitale de la Namibie, compte environ 270 000 habitants (2005). Compte tenu d'une situation dans laquelle la croissance de la population devrait, en raison d'un afflux de ruraux, se poursuivre à un rythme rapide (3,25 %), la ville risque dans le futur de manquer d'eau.

Actuellement, la disponibilité annuelle en eau pour la ville (22,3 millions de m<sup>3</sup>, y compris 1,3 million de m<sup>3</sup> pour l'irrigation) repose sur les éléments suivants :

- Fourniture d'eau en gros de trois barrages (ceux de Von Bach, Swakoppoort et Omatako), situés respectivement à 50 km, 100 km et 200 km de Windhoek, et totalisant 17 millions de m<sup>3</sup> par an ;
- Captage des eaux souterraines à partir de 50 puits situés dans les environs de Windhoek, approximativement 3,8 millions de m<sup>3</sup> (dépassant la capacité de l'aquifère) ;
- Fourniture provenant de sources mineures, y compris d'eaux de surface traitées provenant du petit barrage proche de Goreangab, d'eaux usées recyclées et de l'approvisionnement d'urgence en eau souterraine en provenance de la mine de Berg Aukas (420 km de Windhoek).

Au sud de Windhoek, se trouve la réserve d'eau dite Aquifère de Windhoek, qui est constituée de quartzites fortement fracturées. La quantité d'eau stockée dans cette réserve tampon, qui atteint 35 millions de m<sup>3</sup>, est inférieure à sa capacité en raison d'une utilisation excessive dans le passé. En injectant de l'eau de surface traitée, provenant des barrages mentionnés ci-dessus, pendant les périodes de surplus, la quantité pourrait atteindre 66 millions de m<sup>3</sup>. Les eaux souterraines pourraient alors être utilisées pendant les périodes sèches pour assurer un régime d'approvisionnement en eau fiable. Le stockage de plus grandes quantités d'eau dans le tampon souterrain permettrait également de supprimer les fortes pertes dues à l'évaporation de l'eau des barrages (actuellement proche de 70 %).

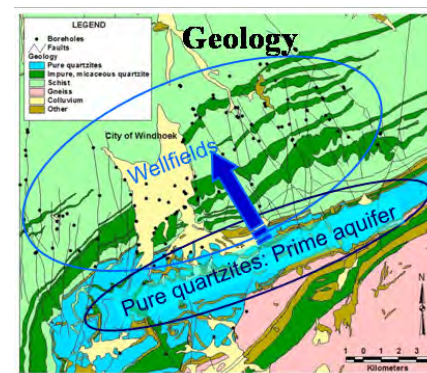


Figure 1 : Caractéristiques géologiques et zones cibles de la recharge artificielle.

### Techniques utilisées

Pour répondre à la demande en eau future, NamWater, la société publique d'approvisionnement en eau, met en œuvre en collaboration avec la ville de Windhoek la stratégie suivante :

- Recharge artificielle (AR) de l'aquifère de Windhoek, utilisant l'eau des barrages de la région centrale (Voir ci-dessus) ;
- Utilisation combinée des ressources en eau : recours aux eaux de surface durant les périodes où l'offre est élevée, les eaux souterraines étant utilisées comme système de secours en période de sécheresse ;
- Mise en œuvre de mesures destinées à jouer sur la demande en eau, susceptibles de réduire la demande non restreinte d'environ 30 % et de maintenir la hausse de la consommation annuelle au-dessous d'un seuil de 2,5 % ;

Le projet de « banque de l'eau » de l'aquifère de Windhoek a débuté en 2004 et la réalisation du programme devrait s'étaler sur 15 ans. Durant la phase initiale, quatre puits d'injection ont été installés. Conformément au plan relatif à ce projet, cinq puits d'exploration, dix puits d'injection et neuf puits de surveillance seront installés. Sur le long terme, l'eau de surface traitée sera mélangée (selon un ratio de 3 à 1) aux eaux usées recyclées provenant de l'usine de retraitement de l'eau de Goreangab, utilisant des techniques de traitement avancées.

### Impact

Le coût de ce projet de recharge artificielle de l'aquifère de Windhoek s'élève à 19,8 millions d'euros. Le programme ne peut couvrir ses propres frais et n'est donc pas financièrement viable. Néanmoins, il fournit une garantie d'approvisionnement en eau à la ville de Windhoek, et présente en outre un certain nombre d'autres avantages :

- Il n'exige pas de puiser dans des ressources en eau limitées dans le pays, mais au contraire améliore l'efficacité des sources existantes ;
- Réduction substantielle des autres plans d'augmentation de l'approvisionnement ;
- Caractère plus viable des mesures d'action sur la demande, dans la mesure où les petites quantités économisées peuvent être déposées par injection dans la réserve d'eau ;
- Report possible des travaux d'amélioration des infrastructures de stockage ;
- Caractère minime des effets environnementaux comparé à celui d'autres solutions.

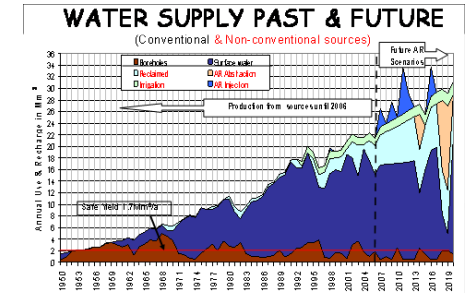


Figure 2 : Historique et quantité future de production d'eau proposée pour Windhoek (par an)

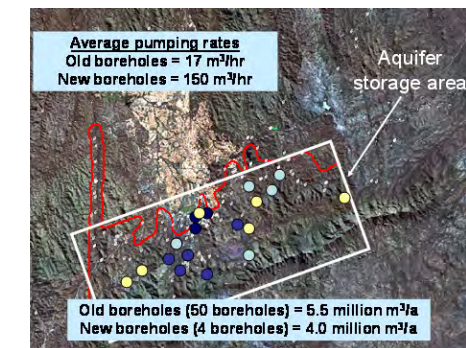


Figure 3 : Emplacement des sites de recharge artificielle de l'aquifère de Windhoek et puits utilisés pour l'approvisionnement en eau.

### LARGE DIAMETER DEEP BOREHOLE



Figure 4 : Forage d'un puits profond au large diamètre

# Barrages de retenue des eaux de surface en haute altitude

## Bassin d'Ocona, Pérou

### Introduction

Comme on l'a déjà souligné, le changement climatique peut entraîner le développement de nouvelles approches de gestion de l'eau. La retenue des eaux de ruissellement augmentera la disponibilité en eau tout au long de l'année et améliorera les conditions d'existence des populations. Dans les régions ayant une saison sèche distincte, la retenue des eaux de ruissellement pendant la saison humide peut contribuer à changer la situation de l'agriculture locale et les moyens d'existence des populations rurales.

Il est essentiel de sauvegarder les intérêts des utilisateurs du sol et de l'eau de l'ensemble du bassin.

### Description

Dans les zones de captage situées en haute altitude dans le bassin de l'Ocona au Pérou, l'eau de la rivière est exploitée intensivement et il n'existe pas d'autres ressources en eau disponibles pendant la saison sèche. Ici, des barrages de retenue à moyenne échelle, situés en altitude dans la zone de captage de moyenne dimension, sont utilisés pour augmenter la disponibilité en eau destinée à l'agriculture tout au long de l'année.

Le bassin de la rivière Ocona est situé dans le sud-ouest des Andes au sud du Pérou, constituant une barrière fertile entre les déserts de Sechura et d'Atacama.

Les limites supérieures des bassins versants sont délimitées par la chaîne de montagnes Huanzo, qui comprend une série de glaciers situés à haute altitude, notamment ceux de Coropuna (6445 m), Solimana (6095 m) et Firura (5500 m). Les quelque 70 000 habitants résidant dans la zone du bassin de la rivière Ocona vivent pour la plupart dans la pauvreté ou dans un état d'extrême pauvreté (moins de 2 dollars par jour ou 1,25 dollar par jour ; Banque mondiale, Programme de Comparaison Internationale, 2008). Dans plusieurs des bassins versants de haute altitude, tels que ceux d'Arma-Chichas et de Churunga, les activités agricoles sont soutenues par des systèmes d'irrigation qui utilisent l'eau de fonte des glaciers complétée par de l'eau de pluie. Les ressources en eau souterraines sont insuffisantes ou actuellement inexploitées.

D'après le Centre Tyndall de recherche sur le changement climatique, le Pérou sera un des trois pays à être le plus gravement touchés par les changements climatiques, en raison de la grande



Figure 1: Un bassin de retenue à Lago Palcacocha, près du glacier de Coropuna

dépendance du pays vis-à-vis des glaciers comme source d'eau. L'effet le plus important du changement climatique dans le bassin de la rivière Ocona est le recul des glaciers. La réduction du débit de base qui en découle pendant la saison sèche affecte gravement le potentiel agricole de la zone. Pendant la saison humide, les eaux de ruissellement et l'excédent du débit de base peuvent être retenus par des barrages placés à des emplacements stratégiques dans le bassin. L'eau stockée peut ensuite être utilisée pendant la saison sèche pour venir compléter la fourniture en eau destinée à l'irrigation dans la région.

### Techniques utilisées

Le bassin de la rivière Ocona contient trois sous-bassins. Les commissions d'utilisateurs sont actives dans chacun des sous-bassins, à l'exception du sous-bassin d'Arma qui a un coordinateur de la commission d'irrigation. Ces commissions ont constitué la Plateforme pour une gestion intégrée des ressources en eau du bassin de l'Ocona, qui a pour objet de coordonner le processus même de gestion intégrée dudit bassin.

Les commissions d'utilisateurs coordonnent les actions visant à effectuer un stockage de l'eau de surface afin d'accroître la disponibilité en eau pendant la saison sèche. Le barrage de taille moyenne de Palcacocha a été construit au point de captage de Churunga, près du glacier de Coropuna. Derrière le barrage, un lac artificiel s'est formé et l'eau de ce lac peut être déversée dans un cours d'eau conduisant au point de prélèvement des trois principaux dispositifs d'irrigation de ce sous-bassin.

La construction – dans la partie supérieure de la rivière Arma, dans le sous-bassin d'Arma-Chichas (projet Arma) – d'un plus grand barrage de stockage a été planifiée. L'eau de ce barrage sera acheminée par gravité au travers d'une série de canaux vers un sous-bassin proche, à des fins agricoles. En raison de l'altitude élevée à laquelle se situent ces barrages, l'évaporation est relativement faible.

### Impact

Bien qu'il convienne d'évaluer avec soin les effets du barrage de Palcacocha, les eaux de ruissellement y sont déjà collectées, permettant, tout au long de l'année, d'alimenter les systèmes d'irrigation. On suppose par ailleurs que le lac situé derrière le barrage contribue également à la recharge des eaux souterraines.

La disponibilité en eau nécessaire tout au long de l'année pour l'irrigation des terres agricoles dans le bassin de l'Ocona s'est trouvée gravement menacée par le recul des glaciers provoqué par le changement climatique et par la baisse du débit de base qui en résulte. En prélevant et en retenant les ressources en eau excédentaires à un niveau élevé du bassin versant, grâce à la construction de barrages, il est possible de procéder à une distribution d'eau plus égale dans toute la région, et ce tout au long de l'année.

L'approche intégrée utilisée dans le bassin de l'Ocona permet d'assurer que toutes les activités visant à améliorer la disponibilité en eau dans le bassin sont soigneusement coordonnées. Elle permet également de sauvegarder une utilisation durable de l'eau pour tous les usagers situés en amont, sans créer d'effets secondaires négatifs ou compromettre les usagers de l'aval.



## Références

ADAPTS (2008) : Desk study Ocona Basin (*Analyse documentaire réalisée sur le bassin de l'Ocona*).

ADAPTS (2009) : Mission report Churunga and Arma-Chichas catchments (*Rapport de mission sur les bassins hydrographiques de Churunga et Arma-Chichas*).

AEDES (2005) : Population and Livelihood Census (*Recensement de la population et des moyens d'existence*).

Tyndall Centre for Climate Change Research (*Centre Tyndall de recherche sur le changement climatique*) ([www.tyndall.ac.uk](http://www.tyndall.ac.uk))

# Collecte de l'eau de pluie dans des zones arides

## Afrique subsaharienne

De nombreuses régions d'Afrique subsaharienne, notamment au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal, sont gravement affectées par la pénurie d'eau. Les eaux souterraines y sont souvent polluées (en raison de la nature des couches géologiques) ou trop profondes pour constituer une source d'eau envisageable.

Femmes et enfants consacrent de nombreuses heures chaque jour à la collecte de l'eau, obligés de faire de longs trajets et d'attendre leur tour devant des points d'eau aux capacités souvent limitées et aux sources tarées ou ne fonctionnant pas.

Cela réduit le temps qu'ils peuvent consacrer à d'autres activités, agricoles, économiques, sociales ou éducatives. Dans certaines zones, les populations n'ont même pas accès à des points d'eau et collectent l'eau de manière traditionnelle, en la puisant dans une mare ou un étang, qui en général est également fréquenté par leur bétail.

Des problèmes de santé dus à des ressources en eau limitées et à la contamination de l'eau touchent un grand nombre d'individus dans le monde entier, sans oublier le fardeau que représente la simple collecte de l'eau. Une idée fautive consiste à penser que dans la plupart des régions situées en Afrique subsaharienne, les précipitations sont très faibles, car en réalité, la pluviosité peut être suffisante pour couvrir la demande annuelle en eau.

Le défi est plus lié à la manière dont on gère le problème d'une longue saison sèche caractérisée par des épisodes courts et intenses de précipitations, alors que l'essentiel de cette eau est perdue en raison des ruissellements.

Si l'eau de pluie pouvait être stockée, on disposerait de quantités suffisantes pour répondre aux besoins en eau potable et aux autres besoins correspondant à l'abreuvement des troupeaux, à l'agriculture et à d'autres activités durables.

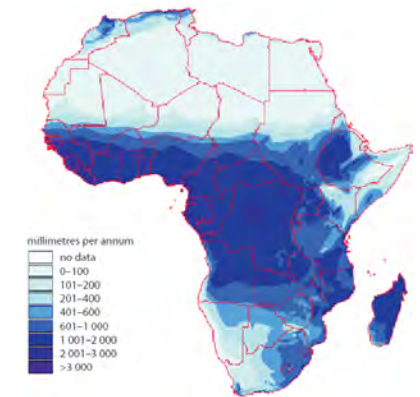


Figure 1. Précipitations annuelles en Afrique (source: UNEP)

## Potentiel inhérent à la collecte de l'eau de pluie

Dans des régions où d'autres sources d'eau ne sont pas disponibles ou sûres, la collecte de l'eau de pluie est susceptible de fournir une solution simple et efficace permettant d'assurer un approvisionnement en eau fiable et suffisant.

Un exemple du potentiel que représente la collecte de l'eau de pluie pour les ménages est donnée dans l'encadré ci-dessous.

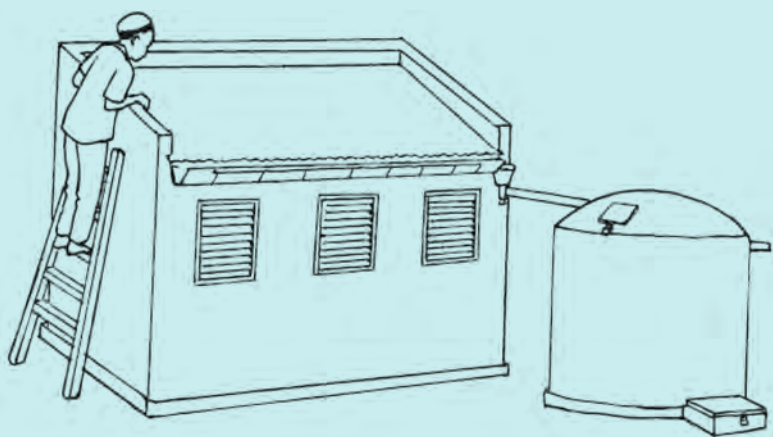
En particulier dans les régions où les sources d'approvisionnement sont rares, voire inexistantes, la collecte de l'eau de pluie peut représenter une source suffisante, et par conséquent réduire la pression exercée sur les ressources en eau souterraines. La famille vivant à Tonka ne bénéficiera pas uniquement d'eau, mais aussi du fait que cette eau est disponible près de chez eux, réduisant ainsi le temps quotidien de la collecte de l'eau et le fardeau que celle-ci représente. Les femmes et les filles auront en particulier du temps pour se consacrer à d'autres activités, et pourront par exemple participer à des groupes de femmes ou aller à l'école. Le calcul donné ici correspond à un ménage, mais il y a également des familles qui vivent dans des complexes plus importants, ce qui augmente la taille du toit et donc le potentiel de la collecte des eaux de pluie.

Superficie du toit = 30 m<sup>2</sup>  
 Précipitations annuelles = 650 mm  
 Taille du ménage = 10 personnes  
 Eau par personne pendant les 7 mois de la saison sèche = 7,4 litres par jour

Dans le village de Tonka, situé dans la région de Koulikoro, au Mali, une famille de dix membres passe trois à quatre heures par jour à aller chercher l'eau à un point d'eau éloigné qui souvent ne fonctionne pas en raison du tarissement des nappes souterraines. Ils utilisent surtout l'eau d'une mare ouverte qui s'est formée pendant la saison humide, et que fréquente aussi le bétail. En quoi la collecte de l'eau de pluie pourrait-elle constituer un avantage pour cette famille ?

Les précipitations annuelles sont de 650 mm environ (la saison des pluies étant située entre mai et octobre) et la superficie de leur toit est de 30 m<sup>2</sup> environ.

Potentiel de la collecte de l'eau de pluie =  $0,81 \times (30 \text{ m}^2 \times 650 \text{ mm}) / 1000 = 15\,600$  litres par an  
 Considérant que la saison sèche dure en moyenne sept mois :  $15\,600 / (7 \times 30) = 74$  litres d'eau disponibles par jour. La famille étant composée de dix membres, chaque membre pourrait par conséquent disposer de 7,4 litres d'eau par jour provenant des eaux de pluie.



Des études ont montré que la collecte des eaux de pluie à partir des toits en tôle ondulée peut très bien servir pour produire de l'eau potable, à supposer que l'exploitation, la gestion et l'entretien en sont correctement assurés. Si l'on a besoin d'eau pour d'autres motifs – par exemple, pour l'abreuvement des animaux, des travaux de cuisine ou le jardinage – la qualité de l'eau n'est pas vraiment un problème.

<sup>1</sup> Ici, le coefficient de ruissellement d'un toit en tôle ondulée est d'environ 80 % (en tenant compte de 20 % de pertes).

Dans le présent exemple, la famille pourrait disposer d'un réservoir de collecte des eaux de pluie pour l'eau potable et d'une mare pour capter les ruissellements des eaux de surface pour les autres usages.



Figures 2 et 3 : Des bénéficiaires, buvant de l'eau devant leur réservoir ; village de Sébi Kotane, Sénégal

### Une solution qui se veut simple !

Les systèmes de collecte des eaux de pluie sont décentralisés, et donc totalement gérés et exploités au niveau des ménages, procurant ainsi une grande indépendance à ses utilisateurs. Les ménages sont responsables de l'entretien, de la gestion et de la conservation de leur propre source d'eau. Investissant dans leur propre installation de l'argent, des matériaux et souvent du temps de travail, le sentiment d'appropriation est fort, ce qui contribue à accroître la durabilité du système. Il existe de nombreux procédés permettant de stocker de l'eau à différentes échelles, mais il est évident que celui qui consiste à collecter les eaux de pluie au niveau des ménages est une solution qui fournit de l'eau aux familles sur le seuil même de leur maison.

Ces systèmes de collecte sont simples et clairs : les eaux de pluie sont récoltées à partir d'un toit (de préférence en tôle ondulée) et acheminées par un système de gouttières et de filtres dans un réservoir de stockage ou infiltrées dans les nappes souterraines en vue de les recharger. Si l'eau doit servir d'eau potable, le système de captage acheminant l'eau vers le système de stockage est équipé

de clapets de rinçage et de filtres, afin d'éviter que des contaminants (provenant de poussières ou de débris du toit) risquent de pénétrer dans le système de stockage. Un tel système de rinçage aide à éliminer les premiers millimètres d'eau susceptibles d'être le plus contaminés. Des études ont montré que si l'on exploite et entretient correctement le système, ces mesures suffisent en général à fournir de l'eau potable.

Il est essentiel que l'installation de stockage ne laisse entrer aucune source de lumière, celle-ci pouvant favoriser la croissance bactérienne. Il convient également de la protéger de toute intervention humaine ou animale. On sait en effet que l'eau stockée dans un système clos favorise l'élimination des bactéries, améliorant ainsi la qualité de l'eau.

La collecte des eaux de pluie peut également servir pour l'irrigation, les animaux et la recharge des nappes souterraines. Il n'est pas alors nécessaire d'appliquer des normes élevées de qualité de l'eau et l'on peut utiliser d'autres techniques (souvent moins chères). En fonction de la nature des besoins en eau et du potentiel lié à la collecte des eaux de pluie, un plan intégré peut être établi en vue d'une utilisation optimale des eaux de pluie.

### Résultats et impact de la collecte des eaux de pluie (CEP)

- Source d'eau près de chez soi ;
- Qualité et quantité d'eau meilleures comparées aux sources existantes ;
- Assiduité scolaire en hausse, notamment celle des filles, en raison de la réduction du temps passé à chercher l'eau. Grâce à cette disponibilité en eau fiable et suffisante, les enfants sont aussi en meilleure santé et capables de participer aux cours ;
- Plus de temps disponible pour les travaux agricoles, et les activités économiques, sociales et éducatives, grâce à la réduction du temps passé à chercher l'eau, mais aussi en raison de la baisse de la fréquence des maladies liées à la qualité de l'eau, notamment chez les enfants.

### Collecte, stockage et utilisation

Il existe en Afrique subsaharienne un énorme potentiel dans le domaine de la collecte des eaux de pluie, notamment dans des zones où les autres sources d'approvisionnement sont insuffisantes, indisponibles ou peu fiables. La seule solution consiste à collecter et stocker les eaux de pluie pour pouvoir ensuite les réutiliser. Les principaux défis sont liés à la nécessité de dépasser les résultats positifs déjà atteints, de fournir des solutions de stockage peu coûteuses et durables et d'entrer en contact avec les personnes et les groupes qui sont encore dépendants de sources d'approvisionnement en eau peu fiables.

### Références

Fondation RAIN - [www.rainfoundation.org](http://www.rainfoundation.org)

# Collecte de l'eau de source

## Tanzanie

### Introduction

Ayant un débit constant et une eau de bonne qualité, les sources constituent une source d'approvisionnement peu coûteuse et souvent considérée comme préférable aux autres solutions. Il est possible de capter l'eau d'une source et de l'acheminer vers des zones qui ont du mal à accéder à une eau de bonne qualité. En Tanzanie, un tel système a été établi pour approvisionner la communauté de Kwemakame, qui utilisait auparavant les eaux peu fiables, et souvent de mauvaise qualité, de cours d'eau saisonniers.

Suite à une violente épidémie de choléra qui eut lieu à la fin des années 80, un projet fut initié qui permit d'identifier la présence dans la vallée de Dindira de sources ayant un débit suffisant pour pouvoir approvisionner en eau les communautés situées en aval (dont le village de Kwemakame). Pour capter l'eau de la source, neuf tranchées (de 3 x 15 x 1,5 mètres), aux côtés étanches, furent creusées en amont de son emplacement. Connectées au même aquifère que la source, le fond des tranchées se déversait dans un réservoir de stockage couvert, puis dans le système de distribution d'eau. Ce système alimentait 27 points d'eau et servait environ 90 personnes chacun, soit un total de 2 430 personnes.

Cependant, au fil du temps, deux problèmes majeurs sont apparus concernant la sécurité de l'eau :

- Baisse du niveau des nappes souterraines en raison du changement climatique et de la déforestation, débouchant sur une recharge moins importante des nappes ;
- Augmentation de la consommation d'eau, les consommateurs utilisant plus d'eau du robinet pour l'irrigation et l'abreuvement du bétail.

### Techniques utilisées

Pour résoudre ces problèmes, le Bureau de l'eau du bassin de Pangani (PBWO) fut établi et des mesures furent entreprises aux fins d'améliorer le rendement en augmentant la recharge des nappes souterraines. Ces mesures ont consisté à dériver et collecter les eaux de ruissellement de surface dans un petit barrage à partir duquel l'eau sert à réalimenter les nappes souterraines par le biais d'un puits de recharge situé à l'amont du point de captage de la source. Par ailleurs, en recueillant ces eaux de ruissellement rapides et en les infiltrant dans l'aquifère perméable de la source, on évite les pics de déversement des eaux de surface. Enfin, ces mesures garantissent un déversement accru et continu d'eau de source de qualité, réduisant la vulnérabilité des communautés fortement dépendantes des effets du changement climatique. On notera aussi le rôle important que joue le PBWO dans la fourniture et le partage de connaissances dans le cadre de projets similaires ; surveillance des conséquences desdits projets et leurs effets sur les utilisateurs situés en aval, recherche de l'optimisation de l'utilisation des ressources et volonté d'assurer leur disponibilité et leur durabilité à long terme.

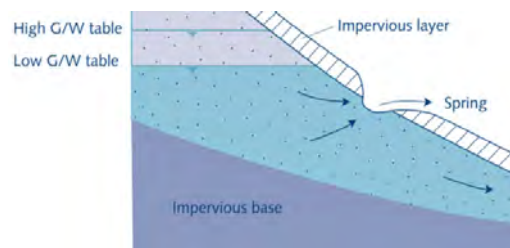


Figure 1 : Exemple de source artésienne (Wijk-Sijbesma et coll., 2002).

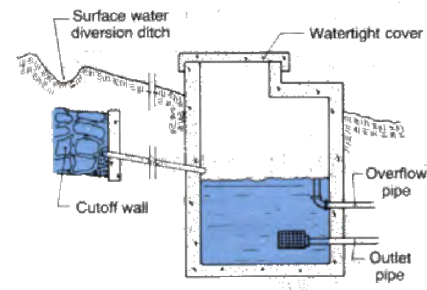


Figure 2 : Vue en coupe d'une source concentrée (Jennings, 1996)

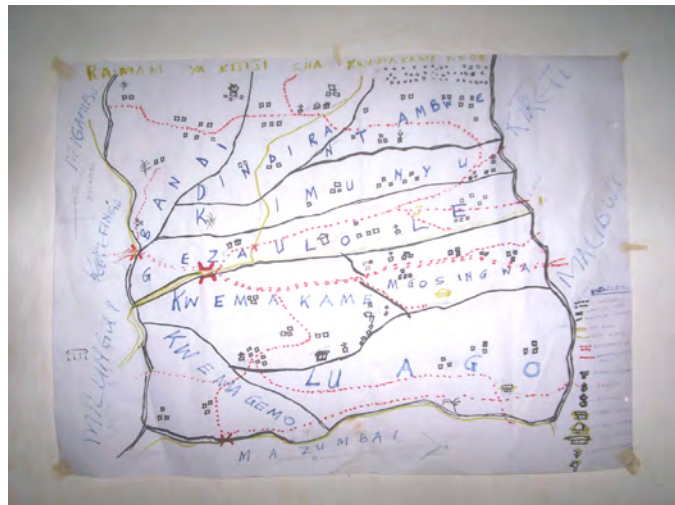


Figure 3 : Plan du village de Kwemakame et des communautés voisines (Source : Chamavita)

## References

H. Rolf (2008) : Chamavita spring water schemes, Usambara Mountains, Tanzania. (*Projets d'eau de source de Chamavita, montagnes d'Usambara, Tanzanie*). Rapport de mission du 01-11-2008 au 17-11-2008. Aqua4All, Nieuwegein. No de projet : So6041

E. Bolt et J. Heeger (1990) : The Kwemakame drinking water project in Tanzania (*Projet d'eau potable de Kwemakame en Tanzanie*). Université agricole Wageningen, Pays-Bas.

## Further reading

C.A. van Wijk-Sijbesma et J.E.M. Smet (2002) : Small community water supplies : technology, people and partnership (*Dispositifs d'approvisionnement en eau des communautés : les technologies, les hommes et les partenariats*). Dossiers techniques / IRC ; no. 40.

G.D. Jennings (1996) : Protecting water supply springs (*Protection des sources d'approvisionnement en eau*) ; North Carolina Cooperative Extension Service. (<http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/wqwm/ag473-15.html>)

Oxfam : Technical Brief on Spring Protection (*Note technique sur la protection des sources*). ([http://www.oxfam.org.uk/resources/downloads/emerg\\_manuals/draft\\_oxfam\\_tech\\_brief\\_springprotect.pdf](http://www.oxfam.org.uk/resources/downloads/emerg_manuals/draft_oxfam_tech_brief_springprotect.pdf))

# Récupération des eaux de pluie dans les zones touchées par la salinisation

## Sénégal

Presque la moitié de la population sénégalaise est considérée comme pauvre, et le gouvernement a fait de la réduction de la pauvreté un des objectifs centraux de sa politique intérieure.

L'eau est considérée comme jouant un rôle essentiel dans cette lutte et constitue donc une priorité.

Pendant des années, le gouvernement a œuvré en vue de fournir des ressources en eau suffisantes pour couvrir les besoins de base de la population, en construisant des infrastructures d'approvisionnement en eau, telles que points de captage, châteaux d'eau, barrages, étangs, etc.

On sait néanmoins que de nombreuses régions du pays ont un taux de salinité élevé dans leurs eaux souterraines ou que la grande profondeur des nappes souterraines rend impossible le forage de tels trous. Le dessalement est une technique efficace pour purifier les eaux souterraines, mais c'est aussi un procédé hautement technique et coûteux et difficilement accessible aux citoyens moyens.



Figure 1 : Mines de sel au Sénégal

### Les marais salants du Sénégal

Au Sénégal, des zones comme la Casamance et Sine Saloum sont connues pour la forte teneur en sel de leurs eaux souterraines. En raison de la réduction des ressources en eau douce, les eaux souterraines sont plus affectées par l'intrusion d'eau salée provenant de la mer. La salinité de ces eaux affecte la santé des personnes, a un effet négatif sur le goût et endommage aussi les matériaux

ferreux utilisés pour le forage des points de captage.

Une solution permettant d'avoir un approvisionnement en eau sûr est celle de la collecte des eaux de pluie (CEP), qui est relativement peu coûteuse, adaptée au contexte et durable. Depuis 2007, le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN) a travaillé avec Caritas Kaolack et le Centre régional pour l'approvisionnement en eau et l'assainissement,



Figure 2 : Un hangar construit par l'organisation partenaire CCF, aucun toit n'étant adapté à la collecte des eaux de pluie.

(CREPA), au Sénégal, sur les îles de Sine Saloum, pour construire des systèmes de collecte des eaux de pluie de différentes tailles au niveau des ménages et à celui des communautés (centres de santé et écoles). L'objectif est de leur fournir suffisamment d'eau potable pendant une durée d'au moins 3 à 4 mois, pour leur permettre de franchir la période critique de la saison sèche. Jusqu'à présent, les projets mis en œuvre ont permis de déboucher sur une augmentation du temps disponible, une fourniture d'eau plus sûre et ayant un meilleur goût et une diminution des risques pour la santé. Ci-dessous vous est présenté un aperçu des systèmes de collecte des eaux de pluie construits au Sénégal dans le cadre du programme RAIN. Jusqu'à présent, une capacité de stockage de 2 229 m<sup>3</sup> d'eaux de pluie (CEP) a été construite au Sénégal, approvisionnant plus de 7 500 personnes en eau sûre et suffisante, leur permettant au moins de franchir la période critique de la saison sèche.

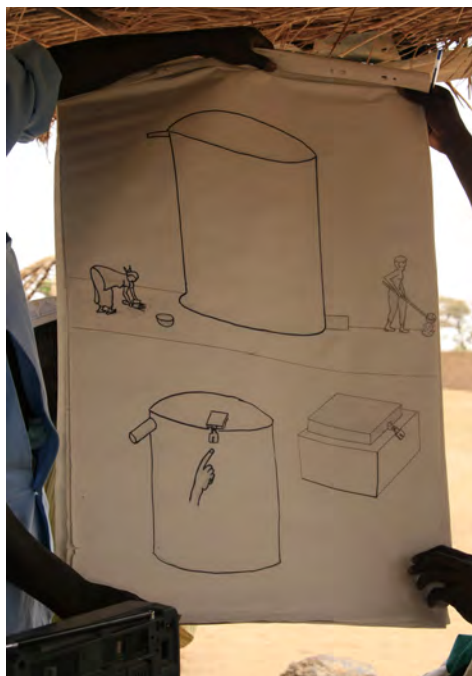
CEP Capacité de stockage (En litres)	Nombre de systèmes CEP construits dans le cadre du programme RAIN		
	2007	2008	2009
10,000	40	34	65
12,000		39	
15,000		7	26
16,000		1	

### Eau pour l'île de Diogane

Sur les îles de Saloum, l'accès à une eau salubre est, en raison de la forte concentration en sel des eaux souterraines, un défi permanent. Cette situation a été améliorée pour les populations vivant sur l'île de Diogane, grâce au soutien de l'ONG sénégalaise Caritas Kaolack. Aujourd'hui, plus de 50 ménages possèdent leur propre installation CEP, d'une taille allant de 10 à 15 m<sup>3</sup>, leur permettant de collecter les eaux de pluie à partir de leur toit. Ils disposent ainsi d'une quantité d'eau potable suffisante pour plusieurs mois, qu'ils peuvent utiliser notamment pendant la saison sèche.



Figure 3 : Entretien d'un réservoir de collecte des eaux de pluie dans le village de Diogane



Les dessins sont utilisés pendant la formation pour montrer des exemples de bonne et mauvaise gestion des systèmes CEP.

Figures 4 et 5 : Un bénéficiaire dans le village de Simal, au Sénégal, montrant les dessins utilisés pendant la formation (Photo : RAIN).

Les bénéficiaires de ces systèmes de CEP participent à toutes les phases du projet et apportent une contribution en nature et en espèces représentant environ 5 à 10 % de l'investissement total. Le coût d'investissement total pour le matériel (supervision, communication et frais généraux non compris) s'élève à 600 euros environ. La durée de vie moyenne d'un réservoir de collecte d'eaux de pluie est de 15 à 20 ans. Par conséquent, le financement d'un tel système correspond à un montant annuel de 40 euros. Cette technique étant une solution peu coûteuse, efficace et durable, d'approvisionnement en eau dans des zones du Sénégal touchées par la salinisation, le défi est à présent d'étendre cette technologie à d'autres zones confrontées à des problèmes d'eau quantitatifs ou qualitatifs.

### Actions de sensibilisation sur le thème de la qualité de l'eau

Caritas Kaolack, l'organisation partenaire de RAIN, met fortement l'accent sur les questions de qualité de l'eau liées à la collecte des eaux de pluie. Dans chaque village où des systèmes de CEP doivent être construits, une formation détaillée est donnée, portant sur les mesures de prévention applicables lors de la collecte et du prélèvement de l'eau dans le réservoir et à proximité. Elle attache également une grande importance aux questions d'hygiène et d'utilisation de l'eau à la maison, notamment l'hygiène du jerrycan, au fait que le produit de nettoyage nécessite un temps de réaction avant que l'on puisse boire l'eau et aux conditions de stockage appropriées. Après la formation, chaque bénéficiaire reçoit au minimum deux visites destinées à s'assurer qu'il applique ces principes d'exploitation et de gestion de manière efficace. Cela permet une meilleure compréhension de l'exploitation et de la gestion des systèmes de collecte des eaux de pluie et des pratiques en matière d'hygiène, et conduit à l'élaboration de conseils sur mesure pour les utilisateurs futurs de ces systèmes.

Ces formations ont prouvé qu'elles permettaient d'améliorer la qualité et la durabilité de l'exploitation et de la gestion des systèmes CEP.

RAIN, Caritas Kaolack et le CREPA Sénégal présentent actuellement la démarche CEP auprès du gouvernement national, attirant son attention sur le fait qu'il s'agit d'une solution efficace d'approvisionnement en eau pour certaines régions du pays et qu'il conviendrait de l'intégrer dans les politiques et les plans sur l'eau, mais aussi de reconnaître les eaux de pluie comme étant une solution d'approvisionnement suffisante en eau salubre. RAIN est en train d'établir au Sénégal un Centre d'Expertise pour la Collecte des Eaux de Pluie (CECEP), qui aura pour objet de promouvoir cette solution et de coordonner la mise en œuvre et le partage des connaissances sur le plan national.

### Références

Fondation RAIN - [www.rainfoundation.org](http://www.rainfoundation.org)

Caritas Kaolack - <http://didier.krumm.free.fr/caritas-kaolack/index.htm>

CREPA Sénégal - [www.reseaucrepa.org](http://www.reseaucrepa.org)

# Les multiples aspects des eaux de pluie

## Népal

Le Népal est un pays riche en ressources hydriques. Cependant, l'accès à l'eau n'y est pas toujours assuré.

Ce sont en particulier les populations vivant dans des régions montagneuses qui souffrent d'un manque d'eau, en raison de la configuration du terrain.

Les femmes et les enfants consacrent de nombreuses heures chaque jour à la corvée de l'eau, qu'ils puisent notamment dans des sources naturelles situées au pied des reliefs, qui ont tendance à reculer encore durant la période sèche. Leurs besoins concernent, outre l'usage domestique, ceux nécessaires aux petites exploitations agricoles, aux potagers, au bétail et à d'autres activités consommatrices d'eau, qui dépendent surtout de la disponibilité en eau pendant la saison des pluies.

Ces activités souffrent de l'absence de précipitations hivernales que le Népal a connue au cours des dernières années.

Un autre facteur conditionnant le niveau de vie des régions rurales du pays est l'utilisation du



Figure 1. Rainwater harvesting tanks in Bubeyrakhe, Nepal (photo: RAIN)

bois de chauffe, qui entraîne de nombreux problèmes de santé en raison de la pollution de l'air dans les maisons. La forte demande de bois de chauffe et la baisse des ressources en eau sont les deux éléments qui ont conduit à une diminution de la superficie des forêts népalaises. De plus, la collecte de bois de chauffe est également une activité chronophage, elle aussi exercée essentiellement par les femmes et les enfants. Dans de nombreuses régions du pays, notamment dans les zones de hauts plateaux, la collecte des eaux de pluie est la

seule solution susceptible de garantir un approvisionnement en eau suffisant, car un système d'adduction d'eau serait extrêmement coûteux dans ce type de terrains. De nombreuses ONG du pays ont pris conscience du potentiel que représentait cette solution, et bien qu'il y ait eu des hésitations au départ, des projets ont été réalisés sur une grande échelle et la collecte des eaux de pluie est devenue une pratique courante au Népal.

L'ONG BSP-Népal a, en collaboration avec SNV – l'organisme néerlandais d'aide au développement – initié et mis en œuvre des installations de biogaz au niveau des ménages, en utilisant les excréments animaux et humains pour produire le biogaz.

Ce programme a eu pour effet d'améliorer effectivement le niveau sanitaire et de réduire la déforestation, le bois n'étant désormais plus utilisé pour faire la cuisine.

Lorsque BSP-Népal nous a contactés pour nous demander de participer à un projet de biogaz et de collecte des eaux de pluie, j'ai immédiatement vu le potentiel de ces techniques. L'aide au financement de BSP-Népal ne pouvant s'appliquer qu'à un réservoir de 6,5 m<sup>3</sup>, ma famille a apporté le financement complémentaire pour pouvoir acheter un réservoir de 14 m<sup>3</sup>. L'eau est utilisée pour faire fonctionner le réservoir de biogaz et ma femme peut maintenant cuisiner sur une cuisinière à gaz ! J'ai aussi fait cette serre pour cultiver des tomates, que nous utilisons pour notre propre consommation, mais dont nous vendons une partie au marché local. J'épargne maintenant en vue d'acquiescer un autre réservoir CEP, qui me permettra d'élargir ma production et d'augmenter le revenu de la famille.



Figure 2 : Propriétaire d'un réservoir de collecte des eaux de pluie et d'un réservoir à biogaz à Sarangkot, district de Palpa, Népal

Il a permis aux femmes d'économiser un temps précieux, n'ayant plus à collecter le bois de chauffe (et échappant ainsi à la corvée du transport du bois jusqu'à leur maison dans un terrain montagneux).

Le Programme biogaz a conduit à une mise en œuvre réussie de plus de 205 000 méthaniseurs dans 75 districts et permis la formation de plus de 60 entreprises de construction sur les thèmes de la construction d'installations de biogaz et de systèmes de CEP.

Enfin, ce programme a réussi à commercialiser la réalisation de ces installations en s'engageant dans une coopération avec les entreprises de construction du pays et en établissant un modèle financier séduisant.

Dans ce modèle, 30 % représentent des subventions publiques, 60 % le prêt accordé à l'utilisateur par le canal d'instituts de micro-finance, et 10 % correspondent à la contribution de l'utilisateur en espèces et en nature.

Propriétaire d'un réservoir de collecte des eaux de pluie de 14 m<sup>3</sup> et d'un réservoir à biogaz de 6 m<sup>3</sup> à Sarangkot, district de Palpa, Népal.

Néanmoins, pour exploiter ces installations de biogaz, il faut de l'eau ; celle-ci est rare et il est difficile de s'en procurer dans les zones montagneuses. Actuellement, BSP-Népal combine la création d'installations de biogaz avec des réservoirs de collecte des eaux de pluie dans des zones où les autres sources d'approvisionnement en eau ne sont pas accessibles. Cela permet de disposer d'eau pour la production de biogaz, la fourniture d'eau potable (et d'autres petits usages domestiques) et l'irrigation. Les entreprises de construction reçoivent une formation intensive portant sur l'installation de réservoirs CEP (la plupart ayant une capacité de 6,5 à 10 m<sup>3</sup>) et leur travail est régulièrement suivi et évalué. Afin de rendre la solution de la collecte des eaux de

pluie plus attractive financièrement pour les populations rurales pauvres, BSP-Népal est en train d'étudier des solutions où les projets CEP pourraient aussi obtenir un soutien d'organismes de micro-finance.

### Ganga Chand

Le Plan cadre comporte un important aspect social et technique, qui repose à la fois sur les besoins et les caractéristiques locales d'un village et sur les facteurs physiques conditionnant la disponibilité des ressources en eau en vue de permettre des utilisations optimales de celles-ci. La collecte des eaux de pluie est l'une des solutions d'approvisionnement en eau qui figurent dans le plan-cadre. On peut donc considérer que ce plan constitue une première étape dans la mise en place d'une gestion intégrée des ressources en eau au niveau des villages. Les succès obtenus par les ONG dans tout le pays ont suscité une augmentation de la demande de systèmes CEP. Par ailleurs, au début de 2009, le gouvernement népalais a reconnu l'importance des eaux de pluie comme source d'eau, tant pour l'usage domestique et le secteur productif que pour la recharge des nappes souterraines.



Figure 3 : Propriétaire d'un réservoir de collecte d'eaux de pluie à Bubeyrakhe, dans le district de Dailek, au Népal (Photo : RAIN).

L'ONG helvétique Helvetas met en place des systèmes de collecte des eaux de pluie dans trois régions népalaises. Ses projets envisagent la combinaison de l'assainissement et de l'approvisionnement en eau au moyen de solutions de collecte des eaux de pluie. Les populations qui ont accès à des services d'assainissement améliorés sont encore peu nombreuses, en particulier dans les zones rurales du pays. C'est pour résoudre ce problème que Helvetas a voulu combiner les projets d'approvisionnement en eau avec les objectifs visant à l'amélioration de l'assainissement. Pour réaliser une approche plus intégrée de la gestion des ressources en eau, Helvetas Népal a développé un programme qualifié de Programme de gestion des ressources en eau (Water Resources Management Programme [WARM-P]), basé sur trente ans d'expériences dans le secteur de l'eau et de l'assainissement, pour traiter les questions de conflits liés aux sources, de l'approvisionnement en eau et de ses diverses utilisations et de la gestion de l'eau au niveau des villages. En raison de la fréquente surexploitation des sources d'eau existantes, et de leur gestion peu satisfaisante tant au niveau intra-communautaire qu'inter-communautaire, Helvetas a souhaité aider les communautés à organiser et à préparer des plans de gestion de leurs ressources en eau portant sur les diverses utilisations possibles de l'eau au niveau du village. Ainsi, ce programme a pu, non seulement apporter son soutien aux communautés dans les domaines de

l'approvisionnement en eau et de l'assainissement, mais également les aider à préparer et à mettre en œuvre un Plan cadre d'utilisation des ressources en eau (WUMP). Ce plan est un outil qui a pour objet de faciliter l'établissement d'un plan de gestion intégré et à établir la carte de toutes les ressources en eau disponibles et potentielles dans la zone.

Avant, je devais marcher de nombreuses heures chaque jour pour aller en haut de la colline chercher l'eau à la source avec un jerrycan. Maintenant, il suffit que je sorte de chez moi et je peux puiser l'eau dont j'ai besoin dans mon propre réservoir. J'en suis très fière et heureuse. Mon mari a commencé à travailler comme maçon dans un projet de collecte des eaux de pluie que Helvetas Népal est en train de monter dans un village voisin. C'est grâce à la formation qu'il a reçue lors de la construction des réservoirs dans notre village, qui lui avait permis d'apprendre à construire des réservoirs. Ces réservoirs ont changé beaucoup de choses dans ma vie et celle de ma famille.

### Références

BSP-Népal : [www.bspnepal.org.np](http://www.bspnepal.org.np)

Helvetas-Népal : [www.helvetasnepal.org.np](http://www.helvetasnepal.org.np)

Fondation RAIN : [www.rainfoundation.org](http://www.rainfoundation.org)



# Drainage contrôlé

## Pays-Bas

Pendant longtemps, on a considéré que le drainage consistait à retirer l'excédent d'eau de surface pour améliorer la croissance des cultures. Un concept plus récent en donne une définition plus large, le présentant comme étant la gestion multifonctionnelle des réservoirs tampons :

« Le drainage est le processus qui consiste à retirer un excédent d'eau de surface et à gérer les nappes souterraines peu profondes – en retenant et en retirant l'eau – ainsi qu'à gérer la qualité de l'eau afin d'obtenir une combinaison optimale d'avantages économiques et sociaux tout en préservant les fonctions écologiques clés » (Banque mondiale, 2004).

Dans cette perspective, le drainage peut remplir un grand nombre de fonctions : amélioration de la santé publique, réduction des dommages subis par les routes et autres infrastructures, amélioration des conditions de vie (maisons moins endommagées, écologie plus riche, agriculture). Les bénéfices dus au drainage – sous réserve qu'il soit correctement réalisé – peuvent être nombreux.

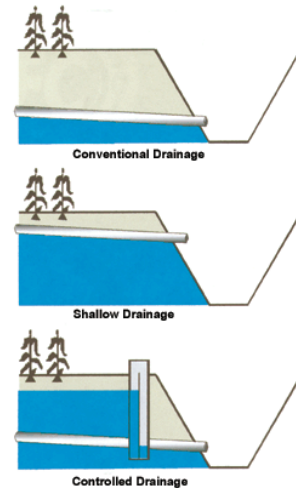


Figure 1: Différents systèmes de drainage avec canalisations

La notion de drainage contrôlé est au cœur même du concept de gestion intégrée du drainage. Dans le drainage conventionnel, les nappes phréatiques se situent à une certaine profondeur, mais dans le drainage contrôlé, elles fluctuent en fonction des exigences de la culture concernée ou des fonctions requises. Le drainage contrôlé – utilisé dans des pays aussi différents que le Bangladesh, la Chine, la République tchèque, l'Égypte et les Pays-Bas – permet de gérer les réservoirs tampons avec précision.

### Techniques utilisées

Aux Pays-Bas, l'objectif exclusif du drainage a traditionnellement été de procéder au rapide drainage des sols et des eaux de surface. Cela facilite la préparation et la plantation des semis en temps opportun, au moyen de tracteurs et de matériels agricoles lourds, et permet de minimiser les baisses de rendement provoquées par le phénomène d'anaérobiose, par lequel les racines sont submergées dans un milieu complètement saturé et dépourvu d'oxygène.

Ces pratiques de « drainage conventionnel » (Figure 1) permettent aux agriculteurs de retirer rapidement les excédents d'eau de pluie des parcelles et de les orienter vers des fossés, canaux et cours d'eau ; mais elles entraînent aussi des surplus d'eau en aval dans des périodes de fortes précipitations et des pénuries d'eau et des sécheresses dans des périodes où la pluviosité est plus faible.

Au cours des dernières années, de nouveaux systèmes, dits de « drainage contrôlé », ont été introduits par des draineurs et cette pratique est de plus en plus appréciée par les agriculteurs. Un agriculteur a développé, en collaboration avec l'un d'entre eux, un système de drains et de tuyaux collecteurs (« le tuyau Van Iersel ») grâce auquel les agriculteurs peuvent réguler le niveau de la nappe par parcelle drainée. Un meilleur contrôle des nappes souterraines permet à l'agriculteur de procéder au drainage aux profondeurs appropriées lors de l'ensemencement et de la récolte, mais de retenir l'eau pendant les périodes plus sèches. Les résultats préliminaires des applications faites sur le terrain avec des agriculteurs opérant dans les provinces du sud des Pays-Bas montrent que la méthode du drainage contrôlé réduit les pics de déversements et facilite une meilleure dispersion des eaux souterraines sous les parcelles (plus grande uniformité de la nappe). En outre, les drains collecteurs remplacent les fossés. Cela permet aux agriculteurs de réunir des parcelles en comblant les fossés, accroissant ainsi la surface cultivée et réduisant le temps de travail, en n'ayant plus à faire des allers et retours sur de petites parcelles.



Figure 2. Collector tube well

### Impact

Pour installer ce nouveau système de drainage, des drains sont posés à une plus grande profondeur et moins espacés (6 à 8 m), sous le niveau des eaux souterraines. Ils aboutissent à un drain collecteur (un tube ayant un diamètre supérieur à celui des drains) qui est raccordé à un grand tuyau ou à un puits (Figure 2). Le niveau des nappes souterraines dans les drains peut alors être modifié en élevant ou abaissant le tube de sortie se trouvant dans le tuyau collecteur.

En disposant de drains plus rapprochés les uns des autres et placés à une plus grande profondeur, on peut obtenir des niveaux de nappes plus uniformes, ce qui contribue à une dispersion plus rapide des eaux de pluie les plus fortes. Cela signifie que l'on peut maintenir un niveau moyen des nappes souterraines plus stable, mais aussi que l'on pourra éviter des niveaux supérieurs des nappes, donnant aux agriculteurs néerlandais vivant dans les régions où le climat maritime tempéré est particulièrement imprévisible, une meilleure récolte (ensemencement et récoltes, élimination du problème d'anaérobiose).

Par ailleurs, en maintenant une nappe uniforme, il est possible de réduire les contacts avec les couches cultivées saturées de phosphore, et donc de limiter la quantité de phosphore susceptible d'atteindre les drains. En même temps, en raison du plus long trajet de l'eau dans le sol pour rejoindre les drains submergés sous les nappes phréatiques, une dénitrification plus importante peut se produire, réduisant la quantité d'azote s'écoulant dans les drains. Néanmoins, aux Pays-Bas, ce dernier phénomène nécessite d'être corroboré par des recherches complémentaires et par l'obtention de résultats ultérieurs.

Aux États-Unis, en revanche, le drainage contrôlé a, dans certains États, été reconnu comme étant la meilleure pratique de gestion permettant de réduire le transport et l'afflux d'azote et de phosphore aux eaux de surface sensibles à leurs effets.

### Drainage agricole : expériences en République tchèque

Située dans une zone à climat tempéré, la République tchèque n'a pas besoin d'utiliser le drainage en tant que mesure correctrice après irrigation. Cependant, les premiers systèmes de drainage étaient construits dans des sols argileux riches en limon, dans des régions où l'on cultive la betterave à sucre et où les fortes précipitations ou la fonte des neiges causaient l'engorgement des sols. Ensuite, pendant presque tout le vingtième siècle, on procéda au drainage à grande échelle des sols minéraux cultivés, en ciblant notamment les zones sujettes à l'engorgement (qui couvraient le quart des terres agricoles du pays). Dans les années 1970, on se mit à utiliser le drainage par tuyaux enterrés pour le contrôle bidirectionnel sol-eau ; drainage, irrigation et/ou retenue de l'eau. Différents systèmes de contrôle bidirectionnel furent installés dans la plaine de l'Elbe, au niveau du cours moyen du fleuve, et en Moravie du sud. Le drainage contrôlé sur ce dernier site est encore en partie opérationnel (Adapté d'après Z. Kulhavy et coll., 2007).

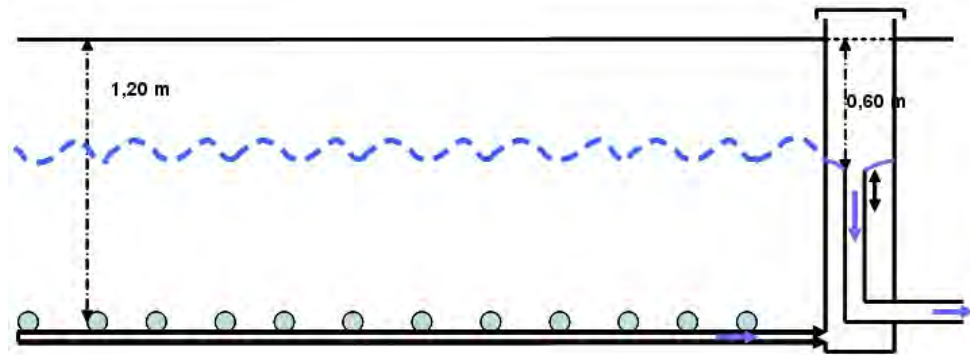


Figure 3 : Drainage contrôlé : drain en profondeur, drain collecteur et tuyau à hauteur ajustable dans le puits.

### Références

S. Abdel-Dayem, S. Abdel-Gawad et H. Fahmy. (2007) : Drainage in Egypt: A story of determination, continuity and success. (*L'irrigation en Égypte : L'histoire d'une détermination, d'une continuité et d'une réussite*) ; Irrigation and Drainage. Volume 56 : S101-S111.

A. Dayem-Safwat, J. Hoevenaars, P. Mollinga, W. Scheumann, R. Sloopweg, et F. van Steenberg (2004) : Reclaiming drainage : towards an integrated approach. (*Rétablir le drainage : Vers une approche intégrée*). World Bank Agricultural Sector Technical Paper 1 ; Washington : Banque mondiale.

A. Dayem-Safwat et F. van Steenberg (2007) : Making the case for Integrated Water Resources Management : Drainage in Egypt (*Expliquer les arguments en faveur d'une gestion intégrée des ressources en eau. Le drainage en Égypte*) dans : Water International, Volume 32, Number 5, Pg. 674-685, Supplément, 2007.

R. Evans, R. Wayne Skaggs et J. Wendell Gilliam (1995) : Controlled versus conventional drainage effects on water quality (*Les effets du drainage contrôlé comparés à ceux du drainage conventionnel sur la qualité de l'eau*) : Irrigation and Drainage Engineering, Juillet/Août 1995, 217-276.

F van Steenberg, 2004 : Groundwater development and policies in Pakistan (*Le développement et les politiques des eaux souterraines au Pakistan*). Dans : M. Brentwood and S. Robar : Managing common pool groundwater resources : an international perspective. London, Praeger.

Wang Shaoli, Wang Xiugui, Larry C. Brown et Qu Xingye (2007) : Current status and prospects of agricultural drainage in China (*Bilan actuel et perspectives du drainage agricole en Chine*) ; Irrigation and Drainage, volume 56 : S47-S58.

Z. Kulhavy, F. Dolezal, P. Fucik, F. Kulhavy, T. Kvitik, R. Muzikar, M. Soukup et V. Svihla (2007) : Management of agricultural drainage systems in the Czech Republic (*Gestion des systèmes de drainage dans l'agriculture en République tchèque*) ; Irrigation and Drainage, volume 56 : S141-S149.

Interviews et documents internes fournis par :

Lodewijk Stuyt (ALTErrA), Jacques Peerboom (Waterschap Peel en Maasvallei) et Ad van Iersel - Site de l'Université du Minnesota :

<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/dc7740.html>

# Utilisation conjointe des eaux souterraines et des eaux de surface pour l'irrigation à grande échelle

## Maroc

Dans de nombreux systèmes d'irrigation à grande échelle, il y a, à présent, une « double réalité » dans laquelle une large partie, et parfois l'essentiel, de l'eau utilisée sur l'exploitation provient des eaux souterraines, et non directement des eaux de surface. Les systèmes d'irrigation en surface comportent une grande densité de puits, lesquels sont principalement alimentés par les eaux d'infiltration, qui sont ensuite utilisées et réutilisées. Nous avons là un exemple d'extension de la chaîne de valeur de l'eau.

### Description

Dans des systèmes mixtes, l'eau utilisée provient de sources d'eau de surface et de la gestion des eaux souterraines.

Dans la majorité des immenses réseaux d'irrigation du continent indien, l'eau provient essentiellement de tels puits peu profonds (Shah, 2009). C'est également le cas au Pakistan (Van Steenberg, 2007). Un exemple éclairant de la manière dont l'utilisation fréquente des réserves souterraines a permis de bien vivre pendant une période difficile est en effet celui de la sécheresse qui a frappé le Pakistan de 1999 à 2003. Durant cette période, les sorties des principaux réservoirs baissèrent de 20 %. Néanmoins, contrairement à ce que l'on aurait pu craindre, la production agricole ne diminua pas, mais enregistra une légère hausse. Ce résultat s'explique par une utilisation plus intense des réservoirs d'eau souterrains – passée dans la province du Pendjab de 42 % à plus de 50 % de l'approvisionnement en eau des exploitations. Dans la province du Sindh, on a installé un grand nombre de nouveaux puits, ce qui a permis de désengorger une vaste zone. Alors que cette zone était de 2,2 millions d'hectares, elle fut réduite après trois ans de sécheresse à moins de 0,5 million d'hectares. L'utilisation combinée des eaux de surface et des eaux souterraines permit non seulement d'assurer la survie des habitants, mais aussi de mettre l'accent sur la nécessité de développer un système de gestion des ressources en eau beaucoup plus productif. Il est frappant de constater que ce sont les variations climatiques qui ont ici conduit à une meilleure utilisation des ressources et à une meilleure productivité.

Au Maroc, le système Tadla constitue un autre exemple d'un système d'irrigation mixte. Le périmètre d'irrigation de la région de Tadla est situé à 200 km au sud-est de Casablanca. Il couvre une zone irriguée de près de 100 000 ha et est géré par l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Tadla (ORMVAT). Annuellement, entre 323 millions (2001/02) et 1 003 millions de m<sup>3</sup> (1991/92) d'eaux de surface sont déviés vers le périmètre irrigué. Le périmètre d'irrigation de Tadla est, sur le plan national, un producteur important de produits agricoles, notamment de lait et de viande. L'utilisation des eaux souterraines dans la région de Tadla a décollé à partir de 1980, lorsque les systèmes de cultures furent libéralisés.



Figure 1 : Utilisation des eaux souterraines et des eaux de surface pour l'irrigation au Maroc

Auparavant, le choix des cultures, la fourniture des intrants et le marketing étaient contrôlés par les agences étatiques d'irrigation et les cultures étaient homogènes. Dans le cadre du nouveau régime, les agriculteurs furent autorisés à faire eux-mêmes la sélection de leurs cultures. L'irrigation fournie par les agences d'irrigation de l'ORMVA était plus orientée par la demande, cependant lors de périodes de sécheresse, de nombreuses restrictions étaient appliquées.

Ce fut cependant l'accès à l'eau souterraine qui rendit possible la diversification du système, le passage à des systèmes agricoles à plus forte valeur ajoutée et l'introduction de nouvelles cultures horticoles. Un autre excellent exemple est la progression spectaculaire de ce système dans les exploitations laitières basées sur la culture de la luzerne, qui connaît la productivité de l'eau la plus élevée.

Il est surprenant de voir que l'augmentation de la productivité de l'eau est allée de pair avec une extension de la zone cultivée. Les ressources en eau de surface dans la plaine de Tadla ont diminué en raison de la baisse des précipitations, en particulier dans la période 1980-1992.

La qualité de l'irrigation de surface se trouvait également menacée : la capacité des réservoirs était réduite sous l'effet de la sédimentation, le réseau de canaux était obsolète et le recours à des techniques d'irrigation inefficaces conduisait à des pertes importantes des réserves en eau.

### Techniques utilisées

Dans la plaine de Tadla, l'agriculture irriguée est à présent caractérisée par un profil d'utilisation mixte. Les agriculteurs utilisent de plus en plus les ressources en eau souterraines en complément des ressources en eau de surface disponibles. Dans les zones d'irrigation de surface, le nombre de puits se situe entre 8 000 et 10 000, chaque puits ayant en moyenne un débit de 15 l/s. Dans la zone

située en dehors du périmètre d'irrigation, on trouve aussi plus de 4 500 postes de pompage, dont plus de 1 300 puits pompant l'eau de l'aquifère de l'Éocène (Hammani, 2007).

Les niveaux de pompage varient énormément d'une année sur l'autre, en raison de la grande irrégularité des précipitations, mais on estime qu'ils sont de l'ordre de 140 Mm<sup>3</sup> – soit 15 % à 50 % de la quantité d'eau totale fournie aux exploitations.

Ces différents éléments reflètent l'importance des réservoirs aquifères tampons, tant s'agissant de l'augmentation de la production que de l'atténuation des phénomènes de sécheresse.

Le système mixte présente toutefois un certain nombre d'inconvénients. Tout d'abord, on peut craindre que l'utilisation des eaux souterraines ait dépassé les limites d'un approvisionnement durable. L'eau utilisée pour être pompée à une faible profondeur provient surtout de l'eau accumulée en raison de fuites provenant du système d'irrigation de surface, mais à présent, on a de plus en plus tendance à exploiter l'aquifère de l'Éocène plus profond.

Ensuite, des questions d'équité se posent. Un des problèmes a trait aux distorsions qui existent en matière de propriété : les grands exploitants (en particulier) possèdent un puits et, pour avoir accès à des ressources en eau supplémentaires, les autres exploitants doivent l'acheter aux propriétaires de puits ou l'acquérir à partir de sources d'eau d'irrigation de surface non approuvées.

Enfin, il n'y a aucune gouvernance des eaux souterraines. En principe, le pompage des eaux souterraines n'est possible que sur la base d'une autorisation officielle, mais la plupart des exploitants installent leur puits sans avoir obtenu de permis. Le non-respect actuel des règles crée un vide juridique et jette une ombre sur la mise en œuvre politique.

La « double réalité » de Tadla représente un grand nombre de vastes systèmes d'irrigation. L'utilisation des réservoirs tampons situés en-dessous des systèmes d'irrigation de surface a mis un terme aux problèmes de drainage et facilité l'évolution vers une agriculture à plus forte valeur ajoutée. Elle a permis de surmonter les difficultés liées à la sécheresse, aux périodes de sécheresse comme aux pénuries survenant dans l'infrastructure d'irrigation.

Bien que l'utilisation mixte soit courante, la gestion conjointe ne l'est pas. Il y aurait beaucoup à gagner d'une meilleure harmonisation des systèmes d'irrigation de surface et de la gestion des réservoirs aquifères tampons, par exemple :

- Lorsque l'on planifie de nouveaux systèmes d'irrigation de surface, il conviendrait de prendre en compte les conditions de l'aquifère situé en dessous. Les caractéristiques du réservoir tampon ont un grand impact sur l'étendue et la facilité de réutilisation des eaux d'infiltration et donc sur l'efficacité globale du système et sa capacité à résoudre les problèmes de sécheresse.
- D'une manière générale, il conviendrait d'évaluer le niveau élevé de systèmes mixtes en termes d'efficacité, de productivité et de résilience. Il arrive que l'eau soit déviée de systèmes mixtes qui fonctionnent bien vers de nouvelles zones – des zones dans lesquelles les possibilités de réutilisation sont plus limitées, et il en résulte que l'eau d'irrigation fournie n'est utilisée que très peu et se trouve en réalité perdue.
- Dans les grands systèmes d'irrigation, il conviendrait de faire concorder la distribution d'eau de surface avec l'utilisation des eaux souterraines. Dans certaines parties de la zone de commande où l'utilisation est intense, on pourrait augmenter la fonction d'irrigation des eaux de surface pour maintenir un équilibre optimal entre la recharge et la réutilisation des nappes peu profondes.

Dans d'autres zones où la portée d'une utilisation conjointe est moindre – par exemple, dans des zones où les eaux souterraines sont salines – on pourrait au contraire diminuer ces fonctions d'irrigation.

- Dans des zones où les eaux souterraines sont salées, il pourrait être opportun de réduire les approvisionnements en eau de surface et d'investir dans des solutions de drainage pour une autre raison. Le fait d'éviter un approvisionnement trop important d'eau d'irrigation de surface, (comme c'est actuellement le cas dans certains réseaux), permettrait de créer une plus grande capacité de stockage dans les couches supérieures.
- Cela permettrait la formation d'une lentille d'eau douce ou saumâtre, alimentée par infiltration et eau de pluie, qui pourrait ensuite servir de source d'eau potable. Bien qu'elles ne constituent pas une solution parfaite, de telles sources sont préférables à celle consistant à utiliser de l'eau d'irrigation de surface fortement polluée, comme on le voit actuellement dans divers systèmes de ce type.
- Des mesures spéciales peuvent être envisagées pour accroître la recharge des réservoirs tampons dans les systèmes d'irrigation. Les flux des fortes moussons se déversant dans un cours d'eau peuvent être partiellement réorientés dans le système d'irrigation et de drainage afin de recharger le réservoir tampon.
  - Toute gestion conjointe exige qu'une attention plus grande soit portée à la qualité de l'eau. Une utilisation intense et répétée affectera la qualité de l'eau. Il convient par conséquent de veiller à ce que les niveaux de salinité et de pollution demeurent faibles.

## Références

N. El Haouari et F. van Steenberg. (2009) : The blind spot in water governance : conjunctive groundwater use in MENA countries (*Une ombre dans la gouvernance de l'eau : l'utilisation conjointe des eaux souterraines dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord*). Papier présenté lors de la 11<sup>e</sup> réunion méditerranéenne (Mediterranean Meeting, RCSAS, Montecatini), 26-28 Mars 2009.

S. Gohar et F. van Steenberg. (2007) : Groundwater Management in Pakistan (*La gestion des eaux souterraines au Pakistan*). Dans : John Briscoe, Pakistan's Water Economy. Annex 12. Karachi ; Oxford University Press  
A. Hammani, M. Kuper, S. Bouarfa, A. Debbarh, M. Badraoui et A. Bellouti (2004) : *Évolution de l'utilisation conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué du Tadla (Maroc)*. Séminaire INCO - Wademed, 19-21 Avril 2004, Rabat.

M. Kuper, P.Y. Le Gal, M.T. Sraïri, C.H. Moulin et L. Puillet (2005) : Increasing irrigation water productivity through supply chain management of agro food products : the case of dairy farming in the Tadla irrigation scheme (Morocco). (*Augmenter la productivité de l'eau d'irrigation par le biais de la gestion de la chaîne d'approvisionnement des produits agroalimentaires : le cas des élevages laitiers dans le périmètre d'irrigation de Tadla, Maroc*). Dans : M.S. Bachta (ed.) - Les Instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués. Actes du Séminaire Euro-Méditerranéen, 21-22 novembre 2005, Sousse, Tunisie.

T. Shah (2009) : Taming the anarchy : groundwater governance in South Asia. (*Lutter contre l'anarchie : la gouvernance des eaux souterraines en Asie du sud*) ; Washington, RFF Press.

# Optimiser les infrastructures routières pour la recharge, la retenue et la réutilisation

Kenya, Chine, Brésil



Figure 1 : Barrage de terre dit « Charco » (Source : E. Nissen-Petersen, 2006)

## Introduction

Les routes et les voies ferrées ainsi que les talus et remblais sont d'importants éléments du paysage qui affectent largement le stockage et la retenue de l'eau, qu'ils soient planifiés ou non. Des sommes importantes sont investies dans la construction et la réfection de routes. Souvent, ces investissements représentent la dépense principale des budgets publics. De plus en plus, cependant, les infrastructures suscitent également l'intérêt des investisseurs privés. Le fait de lier la gestion des réservoirs tampons et la construction des routes permet de procéder à la recharge des eaux souterraines à l'échelle et d'adapter de larges zones aux effets du changement climatique. Lors de fortes pluies, la seconde caractéristique de nombreuses routes devient visible : elles interceptent les ruissellements de surface et concentrent l'eau en rigoles sur leurs surfaces

relativement compactes. L'emplacement de la route par rapport à la ligne de contours, la hauteur des remblais, les pentes longitudinale et latérale de la route, le matériau de surface et de drainage souterrain constituent tous des facteurs importants pour déterminer la manière dont l'eau est retenue et générée autour de l'infrastructure même de la route.

Alors que les pluies peuvent endommager les routes et les ravines situées dans les champs adjacents, un drainage routier approprié permet d'apporter une source appréciable d'eau que l'on peut utiliser directement sur les terres ou qui peut servir pour l'infiltration. Les exemples suivants soulignent l'intérêt d'une utilisation efficace du drainage routier pour le stockage des eaux de pluie et la recharge des eaux souterraines.

## Description

Au Kenya, des puits sont excavés lors de la construction des routes. Le murrum (Figure 2), ou sol latéritique, que l'on trouve au fond de tels puits, est en général imperméable et apprécié pour le revêtement des chemins de terre. Les puits en murrum peuvent également être utilisés comme réservoirs de stockage. On peut creuser un canal de la route jusqu'au puits, si possible avec une déclivité de 3 %, pour éviter les dépôts de sédiments. Les tronçons de puits les plus critiques peuvent être enduits d'un mélange d'argile et de chaux afin d'éviter les suintements. Une autre mesure importante consiste à installer un déversoir revêtu de pierres pour éviter tout risque d'effondrement du puits sous la pression de l'eau. La hauteur adéquate sera calculée en élevant graduellement le déversoir. L'utilisation de tels puits pour le stockage de l'eau constitue une solution peu coûteuse, dans la mesure où il suffit de creuser un canal jusqu'au bassin.

Un type de bassin de stockage plus sophistiqué est ce qu'on appelle le barrage Charco (Figure 1). La construction d'un tel barrage en terre nécessite plus de main d'œuvre, mais elle permet de réduire l'évaporation et l'infiltration. Diverses formes sont utilisées, cependant la forme « en calebasse » est en général la solution préférée, car elle fournit un stockage maximum et nécessite peu de travail, et les pressions internes et externes sont également réparties.

Dans des sols sableux, cette forme en calebasse peut être relativement facilement recouverte de terre argileuse pour éviter les pertes dues à l'infiltration.

Dans le canton de Datong, situé dans la province du Séchouan, en Chine, en quinze ans, plus de 50 000 mini-réservoirs de collecte des eaux de pluie ont été installés, et plus de 300 bassins ont été



Figure 2 : Un puits en murrum, Kenya (Source : E. Nissen-Petersen, 2006)



Figure 3 : Irish bridge (Source : Nissen-Petersen, E, 2006)

construits pour faciliter l'irrigation pendant la saison sèche. Ces réservoirs cylindriques souterrains de CEP sont construits avec juste une petite ouverture au-dessus du sol pour limiter l'utilisation des rares terres cultivées. Ils sont construits le long des routes, des pistes et des bordures de terrain, et utilisent les écoulements issus du drainage de ces infrastructures. Ils ont en général un volume de 30 m<sup>3</sup>, une épaisseur de 25 cm et sont composés de roches calcaires, de briques et de sable. Leurs caractéristiques (composition, petite ouverture) permettent d'éviter les pertes d'eau une fois que l'eau est dans le réservoir. Ces réservoirs comportent deux tuyaux : un petit pour l'irrigation et un plus grand pour éliminer les sédiments accumulés à l'intérieur. Tous les trois à cinq ans, on procède au nettoyage manuel des réservoirs. Une trappe à sédiments est construite devant l'entrée. L'augmentation de la capacité de stockage ainsi atteinte a favorisé le développement de la culture de la canne à sucre, du tabac et des mûres, et permis d'accroître le rendement par hectare, de même que les revenus ruraux.

Au Brésil, 520 bassins d'infiltration ont été construits le long des autoroutes par Autovias, un des principaux concessionnaires autoroutiers privés du Brésil, dans le cadre de son initiative « La route de l'eau ». Les bassins d'infiltration collectent les ruissellements qui s'écoulent de la route et les infiltrent dans le sol pour recharger les réservoirs aquifères. La capacité moyenne des bassins est de 4 000 m<sup>3</sup>. Le sol des bassins fonctionne aussi comme un filtre, permettant d'éliminer un certain nombre de polluants. L'initiative « La route de l'eau » a permis de faire passer la recharge des réservoirs souterrains de 25 % à 31 %, de réduire les ruissellements de surface de 65 % à 57 %, l'évaporation étant passée de 10 % à 12 %.

### Techniques utilisées

Lorsqu'on utilise les eaux de ruissellement, la qualité de l'eau devient évidemment une préoccupation majeure. Dans certaines zones, en effet, le ruissellement des routes contient des quantités non négligeables d'huile moteur et d'autres polluants. Recharger les eaux souterraines avec cette eau ferait plus de mal que de bien. Dans ce cas, les eaux de ruissellement sont drainées afin de ne pas entrer en contact avec les eaux souterraines peu profondes. Il convient aussi d'être attentif au produit d'étanchéité que contient le revêtement de surface des routes et des parkings, car il peut contenir du charbon qui pourrait être cancérigène.

Il existe de nombreux autres liens entre la planification routière et la gestion des réserves en eau : par exemple, la conception d'un drainage souterrain permettant de maximiser la retenue, l'utilisation de « ponts irlandais », de franchissement des cours d'eau (Figure 3) ou de passerelles basses servant de barrages souterrains, et l'amélioration de la recharge des réservoirs aquifères à partir de surfaces perméables (Voir le tableau synthétique).

### Conclusion

Si l'on veut promouvoir une meilleure gestion des réserves en eau et des changements climatiques, l'ampleur et l'impact de l'adaptation nécessaire sont des facteurs essentiels. Il ne s'agit pas d'envisager des mesures, certes utiles, mais isolées, car le défi porte bien sur l'amélioration des capacités de stockage sur une vaste zone géographique. Cela implique que des liens étroits existent entre cette approche et les processus de planification régionale, tels que la construction et la réfection des principales infrastructures routières.

Remblais

La position des remblais le long des lignes de contour et leur hauteur peuvent être conçues de telle sorte qu'ils retiennent les ruissellements de surface et les écoulements dans la nappe et leur permettent de s'infiltrer.

Drainage routier

Le drainage routier peut constituer une importante source d'eau – approvisionnant directement les terres, stockée dans des bassins de surface ou rechargée via des bassins d'infiltration. Néanmoins, la qualité de l'eau drainée est essentielle et il arrive que l'eau polluée soit plus facile à retirer via des drains avec revêtement ou des bassins d'évaporation. La qualité de l'eau servant à la recharge peut également être améliorée par infiltration ou bien par des systèmes de filtration du sol ou des dispositifs de rinçage.

Recharge venant des routes dans des zones où les aquifères sont salins

De la même manière, dans les zones où les nappes souterraines sont salines, le drainage routier – y compris les ruissellements de surface interceptés par les remblais – peut apporter un complément substantiel d'eau. Dans ces zones, de hauts remblais et des drains avec revêtement peuvent permettre d'éliminer une partie importante des ruissellements pour éviter qu'ils ne viennent s'ajouter aux nappes souterraines très salines.

Surfaces des routes

Des surfaces perméables plutôt que des surfaces imperméables augmentent la recharge des réserves en eau souterraines et évite aussi des pics d'inondations provoqués par des zones très construites. Cependant, en matière de recharge, la qualité de l'eau constitue une préoccupation majeure. La surface de la route peut contenir par exemple des produits d'étanchéité composés de goudron de houille et comportant des hydrocarbures aromatiques polycycliques cancérigènes. La qualité de l'eau est également influencée par sa contamination par des huiles

moteur ou autres. Elle peut en partie être améliorée par des boîtes d'infiltration. La présence de couches de sol fin sous la chaussée empêchera que les polluants puissent atteindre le tampon. La route perméable doit être nettoyée tous les quatre ans (en fonction de l'intensité de l'utilisation) pour empêcher l'engorgement, alors que la couche de sol dure 50-100 ans.

#### Ponceaux et galeries souterraines

La taille des installations de drainage souterrain détermine la vitesse à laquelle l'excédent d'eau peut être retiré. Celle-ci peut être modifiée en limitant la taille des ponceaux ou en les dotant d'une vanne. De cette manière, il est possible de compartimenter les grandes zones afin de ralentir les ruissellements de surface et de les retenir, pour les infiltrer et éviter des pics d'inondation retardés en provenance de toute la zone. Il convient cependant d'être très vigilant, car un drainage transversal sous-dimensionné peut aussi provoquer des inondations locales et des engorgements.

#### Ponts de franchissement des cours d'eau (ponts « irlandais »)

Les ponts irlandais (aussi appelés passerelles basses) sont souvent construits dans les rivières saisonnières. Ils peuvent être utilisés pour élever les niveaux de l'eau en amont dans le lit de la rivière et les terres voisines, faisant office de barrages souterrains. Il est recommandé d'être prudent et de ne retenir que les eaux souterraines, en veillant à ne pas bloquer entièrement les écoulements de subsurface, ce qui risquerait d'avoir un effet négatif sur le niveau de l'eau en aval.

## Références

F. Boogaard, G. Bruins et R. Wentink (2006) : Wadi's - aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer. Stichting RIONED.

OHL Brasil, 2007 : Programa via de las aguas, desarrollado por la concesionaria autovias (*Programme « La route de l'eau », conçu par le concessionnaire autoroutier Autovias*). [http://www.wbcds.org/web/e3/partnerships/7Oct\\_WCF\\_BusinessNightSchoolPartnerships\\_ViadelasAguas.pdf](http://www.wbcds.org/web/e3/partnerships/7Oct_WCF_BusinessNightSchoolPartnerships_ViadelasAguas.pdf)

M. Oosterhuis et E. Foekema (2003) : Bodembelasting van metalen in infiltratievoorzieningen is gering. H2O. Volume 21; pp 24-26.

E. Nissen-Petersen (2006) : Water from Roads. (*L'eau provenant des routes*), ASAL Consultants Ltd. pour Danida (Agence danoise d'aide au développement) au Kenya. [www.waterforaridland.com](http://www.waterforaridland.com)

Wu Yang, Tang Ya et Chengmin Huang (2009) : Harvesting of rainwater and brooklets water to increase mountain agricultural productivity: A case study from a dry valley of southwestern China. (*Collecte des eaux de pluie et des eaux de torrents aux fins d'améliorer la productivité de l'agriculture de montagne : Étude de cas concernant une vallée sèche dans le sud-ouest de la Chine*). Natural Resources Forum, 33, 1, 39-48.

## 4. Conclusion

Le changement climatique est évident, et dans de nombreuses régions du monde, il touche un nombre croissant de personnes qui subissent ses conséquences. Dans les régions les plus pauvres, il amplifie dangereusement la précarité déjà ancienne de leurs moyens d'existence et se trouve exacerbé par la dégradation des ressources – pollution, érosion et utilisation abusive.

En prévenant des souffrances inutiles dues à de brusques variations climatiques ou à une pénurie de ressources en eau ainsi qu'au phénomène général de dégradation, l'approche 3R peut aider à poursuivre les objectifs définis en faveur du développement. Le concept des 3R concerne les eaux souterraines locales considérées comme tampon et le potentiel qu'elles représentent si on les gère de manière appropriée pour améliorer la vie des populations vivant dans leur voisinage.

Les études de cas présentées vous ont montré que l'utilisation optimale des ressources en eau peut – grâce aux trois principes de recharge, de retenue et de réutilisation – apporter des solutions aidant à faire face à la variabilité du climat. Le concept de 3R se révèle encore plus pertinent dans un contexte de changement climatique. Et même si l'on ne prend pas en compte les conditions climatiques futures, il existe un besoin manifeste et urgent d'améliorer la sécurité de l'approvisionnement en eau. Dans ce domaine, il existe toute une série de mesures simples susceptibles de contribuer largement à une amélioration de la situation sur le terrain. Des mesures ne nécessitant que des investissements relativement modestes, et pouvant procurer des bénéfices immédiats et durables. Les applications 3R font partie des actions les moins coûteuses susceptibles d'améliorer l'accès à l'eau et d'accroître la productivité des terres agricoles et des zones pastorales. Compte tenu des différents scénarios dont on dispose sur le changement climatique, leur mise en œuvre s'avère encore plus pertinente et il conviendrait de les inclure progressivement dans la planification, la conception et les concepts d'exploitation, dans la mesure où ils peuvent favoriser la résilience face aux aléas du changement climatique.

Certains des exemples vont même au-delà des approches de « non-regret » ou de résilience. Comme l'ont montré les réponses qui ont été données à des crises liées à la sécheresse, tant au Maroc qu'en Namibie et au Pakistan, il apparaît que, dans certains cas, ces modifications climatiques incitent les acteurs concernés à s'engager dans une meilleure gestion de leurs ressources en eau.

Pour maximiser ces avantages, il convient d'améliorer la gestion des réserves en eau dans de larges zones : à l'échelle des bassins, des sous-bassins, des districts et des municipalités. La mise en œuvre de l'approche 3R au niveau du bassin constitue un changement véritable et autonome. Faisant partie de la Gestion intégrée des Ressources en Eau (GIRE), elle permet de traiter des domaines tels que l'aménagement des territoires, la durabilité des écosystèmes, la conception des infrastructures et le développement régional. Elle peut favoriser et renforcer les organisations de bassin qui sont au cœur de la gestion des réservoirs tampons, et faciliter le succès de leur coopération avec les autres parties prenantes, y compris les usagers de l'eau et les communautés. Rappelons que ces bénéfices concernent tout autant les zones humides que les zones arides.

Pourtant, bien qu'elles soient disponibles, les techniques susceptibles de renforcer une gestion durable de l'eau ne sont pas toujours mises en œuvre (par exemple les techniques d'analyse telles que l'hydrogéologie appliquée et la nouvelle génération de méthodes de télédétection permettant d'enregistrer les précipitations et l'humidité des sols et d'élaborer des bilans hydrologiques). Les informations locales sur le climat existent également ou peuvent être tirées d'évaluations régionales. S'agissant des coûts et bénéfices relatifs au développement de nouvelles infrastructures 3R, leur évaluation peut être faite en s'inspirant de l'expérience basée sur les applications 3R déjà réalisées et en y associant des prévisions sur la température de la surface des mers, les précipitations et les ruissellements.

Les techniques permettant d'appliquer les 3R existent, mais le fait qu'elles soient insuffisamment utilisées peut donner l'impression d'occasions manquées. Les études de cas présentées dans cet ouvrage mettent en lumière le fait qu'il est possible de mettre en pratique les trois techniques de recharge, retenue et réutilisation et le stockage des eaux de pluie, et démontrent clairement que les 3R ne sont pas un rêve lointain. Le concept peut être mis en œuvre dès aujourd'hui, tant au niveau régional que local. Nous avons la conviction qu'une nouvelle approche de la gestion des ressources en eau est nécessaire – une approche fondée sur la volonté d'utiliser les réservoirs tampons d'une manière optimale, prenant en compte les conditions locales et les caractéristiques du bassin, attirant les investissements individuels et privés, et intégrant toutes les solutions de façon cohérente en vue de favoriser le développement. Et nous sommes persuadés que le fait de trouver un équilibre entre toutes les fonctions, naturelles et socio-économiques, permettra de garantir un niveau optimal de confort et de sécurité à l'ensemble des pays en développement, partout dans le monde.