



INTEGRATION DE LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

dans les Organismes de Bassin Transfrontalier en Afrique



MANUEL DE FORMATION





Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa

(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Crédits photos:

Couverture: Getty Images, Karen Kasmauski

Page 2: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





AVANT-PROPOS

Le thème de la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassin n'est pas complètement nouveau, et il a été discuté lors d'événements internationaux tels que la Semaine Africain de l'Eau, la Semaine Mondiale de l'Eau de Stockholm et d'autres rencontres similaires. Le processus qui a mené à la production de ce manuel de formation est que pour la première fois des organismes africains de bassin transfrontalier ont été directement impliqués dans une «Une étude d'évaluation des besoins de gestion des eaux souterraines» et dans le développement ultérieur de matériels de formation pour la gestion des eaux souterraines transfrontalières. De nombreuses organisations internationales telles que l'AGW-Net, BGR, IGRAC, le PNUD-Cap-Net, IWMI, et l'ancienne équipe GW-MATE de la Banque mondiale ont soutenu ce processus, et ont apporté une contribution précieuse pour ce manuel.

La gestion des eaux transfrontalières est d'une grande importance pour l'Afrique comme cela a été souligné dans la Vision Africaine de l'Eau 2025; presque tous les pays d'Afrique subsaharienne partagent au moins un bassin versant international. En Afrique, il ya environ quatre vingt bassins transfrontaliers fluviaux et de lac, et au moins quarante bassins d'aquifères transfrontaliers. La Vision Africaine de l'Eau 2025 souligne que l'eau souterraine est la principale, et souvent la seule, source d'eau potable pour plus de 75% de la population africaine. L'eau souterraine constitue plus de 95% des ressources en eau douce en Afrique, et la pollution et la salinisation de cette ressource est souvent irréversible à l'échelle humaine. En conséquence, un large consensus s'est développé dans l'AMCOW et ANBO / RIOB, (Réseau Africain /International des Organismes de Bassin), pour que l'eau souterraine puisse être incluse dans la gestion intégrée du bassin versant fluvial/de lac.

Bien que dans le monde beaucoup de progrès aient été accomplis dans la gestion des bassins versants, la gestion des eaux souterraines transfrontalières a souvent été négligée. Parmi les nombreuses raisons à cela, le plus important est que la ressource en eau souterraine est très complexe et n'a pas été quantifiée à travers l'Afrique. La plupart des organismes de bassin africains n'ont pas les compétences techniques et la capacité d'évaluer et de gérer les ressources en eau souterraine transfrontalières. Cela rend la ressource en eau souterraine largement «invisible» pour les gestionnaires de l'eau qui sont chargés de la gérer de manière durable.



Compte tenu de l'énorme importance de la ressource en eau souterraine en Afrique, et en particulier à la lumière de l'impact croissant du changement climatique, il est impératif que la gestion rationnelle des eaux souterraines à toutes les échelles commence sans plus tarder. Il existe déjà des précédents prometteurs en Afrique qui peuvent fournir des exemples et des expériences utiles, auxquels d'autres organismes de bassin africains peuvent s'inspirer.

Le récent rapport d'état 2012 de l'AMCOW sur «la Gestion des Ressources en Eau en Afrique», affirme que les systèmes de gestion des eaux souterraines fonctionnent de manière satisfaisante dans la plupart des pays d'Afrique du Nord, tandis qu'en Afrique centrale et de l'Ouest, les systèmes de gestion des eaux souterraines sont moins fréquentes. L'enquête d'évaluation des besoins montre que les mécanismes de gouvernance des eaux souterraines sont prioritaires dans les régions les plus arides du continent, où la population locale est fortement dépendante des eaux souterraines comme source d'eau potable primaire. Dans les régions où les gens dépendent de l'eau souterraine, des systèmes de gestion sont mises en œuvre.

«La Conceptualisation de la Coopération pour les Systèmes Aquifères Transfrontaliers de l'Afrique» (Institut Allemand de Développement - DIE) résume la situation en disant ceci : «les bassins aquifères transfrontaliers de l'Afrique contiennent d'énormes quantités d'eau qui sont vitales pour le développement économique futur et le bien-être social des pays riverains. Heureusement, les impacts transfrontaliers négatifs de l'utilisation nationale ont été très rares à ce jour. Cela va certainement changer si le potentiel de ressources en eau souterraine de l'Afrique est exploité, avec le soutien international. Ensuite, la coopération entre les pays africains deviendra impérative afin d'éviter la «course au pompage». C'est pourquoi nous devons agir maintenant!

Nous souhaitons que les étudiants et les formateurs soient inspirés par ce manuel et qu'ils puissent le diffuser à toutes les parties prenantes au sein des organismes régionaux de bassin, les gouvernements nationaux et locaux, la société civile et les entreprises.

Tamiru Abiye
(Manager de African Groundwater Network,)

Vanessa Vaessen
(Conseillère en politique sur les eaux souterraines, Gestion de projet, BGR)



PREFACE

Ce manuel de formation est le produit de deux visions politiques spécifiques.

La première dérive de l'un des piliers de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) : toute l'eau doit être gérée comme une ressource unitaire dans les limites du bassin hydrologique.

La deuxième a trait à la nature transfrontalière évidente de l'eau comme les rivières qui coulent d'un pays à l'autre. La coopération internationale au développement dans le secteur de l'eau soutient donc de plus en plus des mécanismes de coopération transfrontalière.

Bien que les eaux souterraines n'aient pas été exclues de ces visions politiques, son intégration dans les organisations de gestion des bassins fluviaux et l'appréciation de la nature transfrontalière des écoulements souterrains, ont pris du retard. C'est le résultat à la fois de la complexité de la ressource en eau souterraine et de son 'invisibilité' aux yeux du public.

En conséquence, de nombreuses organisations africaines de bassins multi-états n'ont même pas le mandat de gérer l'eau souterraine transfrontalière ou de coordonner sa gestion entre les Etats du bassin. Même là où il n'existe un tel mandat, beaucoup de ces organismes de bassin ont une capacité limitée pour le faire.

Dans ce contexte, BGR / AGW-Net / IWMI ont effectué une «évaluation des besoins pour la gestion des eaux souterraines transfrontalières» dans neuf organismes internationaux de bassins fluviaux en Afrique. Cette enquête a révélé les divers besoins dans les différents organismes de bassin, pour la gestion efficace des eaux souterraines transfrontalières.

Ce manuel de formation a été conçu en réponse aux besoins exprimés, et pour aider à développer les capacités au sein des organismes de bassin, afin de gérer les questions relatives aux eaux souterraines transfrontalières.

Les sujets couverts vont de la politique et de la législation, à travers les questions de ressources biophysiques, à la communication et aux relations avec les parties prenantes. Une grande partie du contenu de ce manuel est également pertinente pour les organismes nationaux de bassins internes.

*Editeur: Dr. Richard Owen
Africa Groundwater Network.*



REMERCIEMENTS



Ce manuel de formation a été rendu possible grâce aux généreuses contributions financières de :

BGR au nom de Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement - BMZ,
PNUD-Cap-Net, et
IWMI / IMAWESA.

Nous tenons à remercier les contributions de divers auteurs :

Albert Tuinhof – qui a produit la première ébauche du manuel

Vanessa Vaessen & Ramon Brentfurher : Modules 1 et 5

Richard Owen : Modules 2 et 7

Moustapha Diene : Module 3

Karen Villholth : Modules 4 et 9

Callist Tindimugaya : Module 6

Daniel Nkhuwa : Module 8

Karen Villholth & Tamiru Abiye : Module 10

Tamiru Abiye : Module 11.

Nous tenons à remercier tous les Organismes de Bassin qui ont participé aux enquêtes d'évaluation des besoins qui ont conduit à la production de ce manuel de formation:

fleuve Sénégal (OMVS), fleuve Niger (ABN), la Volta (ABV), Lac Tchad (CBLC), Aquifère des grès Nubiens (NSAS), le Nil (NBI), Okavango (OKACOM), Orange-Senqu (ORASE-COM), et Limpopo (LIMCOM) et le Réseau Africain des Organismes de Bassin (RAOB).

Les services des équipes de AGW-Net et BGR qui ont mené les enquêtes dans les Organismes de Bassin (OB), et produit les rapports de bassins individuels : (AGW-Net : Tamiru Abiye, Richard Owen, Callist Tindimugaya, Muna Mirghani, Moustapha Diene, et Ben Mapani; pour BGR : Martin Jäger et Sara Vassolo).

Karen Villholth qui a regroupé les rapports individuels sur l'évaluation des eaux souterraines des différents OB.

Des contributions importantes ont également été faites par Geert van Nijsten, Hector Guarduno et Stephen Foster.

Un soutien additionnel à la rédaction a été fourni par Martin Eduvie et Mohamed Elrawady.

Remerciements particuliers à Paul Taylor qui a révisé tous les modules.

Traduit en français par Moustapha Diene

Rédacteur : Richard Owen

Ce manuel est une production du Réseau Eaux Souterraines en Afrique (AGW-Net) www.agw-net.org

L'enseignant et l'enseigné créent ensemble l'enseignement.

CONTENU

MODULE 1

Evaluation des besoins et du cadre de Gestion des Eaux souterraines dans les Organisations de Bassins Transfrontaliers en Afrique

1.1	Introduction	4
1.2	Objectifs de l'étude d'évaluation des besoins	6
1.3	Méthodologie	6
1.4	Analyse SWOT	7
1.5	Résultats globaux	11
1.6	Recommandations	14
1.7	Le manuel de formation	15
1.8	Références	16
1.9	Exercice:	19

MODULE 2

Gestion Intégrée des Ressources en Eau et cadre de gestion des eaux souterraines

2.1	Introduction	4
2.2	Les eaux souterraines dans le cycle hydrologique	5
2.3	Caractéristiques des eaux souterraines	8
2.4	Utilisation durable des eaux souterraines	9
2.5	Qu'est-ce que la GIRE?	10
2.6	Principes et cadre de la GIRE	11
2.7	Gestion des eaux souterraines dans les bassins versants	13
2.8	Résumé	19
2.9	Références	19
2.10	Exercice	20

MODULE 3

Caractérisation des Systèmes Aquifères pour la Gestion des Eaux Souterraines

3.1	Introduction	4
3.2	Formation de l'eau souterraine	4
3.3	Écoulement des eaux souterraines	9
3.4	Bilan et recharge des eaux souterraines	10
3.5	L'interaction eau souterraine et eau de surface	14
3.6	Résumé: D'importants problèmes de caractérisation des eaux souterraines	20
3.7	References	22
3.8	Exercice	23

MODULE 4

Gestion des aquifères transfrontaliers

4.1	Introduction	4
4.2	Qu'est-ce qu'un aquifère transfrontalier (TBA)?	4
4.3	Aquifères transfrontaliers en Afrique	6
4.4	Approche et mécanismes pour la gestion des aquifères transfrontaliers	10
4.5	Les défis spécifiques et des cas de gestion de AT en Afrique	13
4.6	Références	15
4.7	Exercice	16

MODULE 5

Suivi des nappes d'eau souterraine et gestion de l'information

5.1	Introduction	4
5.2	Pratique de suivi et de contrôle	8
5.3	Le stockage des données et la gestion de l'information	13
5.4	Avantages et efficacité des coûts du suivi	16
5.5	Accès et échange de données nationales sur les Organismes de Bassin Transfrontalier.	17
5.6	Les données mondiales	18
5.7	Référence	19
5.8	Exercice	20

MODULE 6

La réglementation des eaux souterraines, les permis, l'allocation et le cadre institutionnel

6.1	Introduction	4
6.2	Règlementation des eaux souterraines dans le cadre d'un bassin versant	4
6.3	Le système de permis dans la gestion des eaux souterraines	7
6.4	Allocation des eaux souterraines	11
6.5	Principales interactions dans le système d'allocation et d'octroi de licences d'eau souterraine	15
6.6	Allocation des ressources en eau souterraine non renouvelables	17
6.7	Cadre institutionnel pour la gestion des eaux souterraines	17
6.8	Mise en œuvre d'un système de réglementation des eaux souterraines	19
6.9	Références et autres lectures	22
6.10	Exercices	23

MODULE 7

Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

7.1	Pourquoi l'implication des parties prenantes?	4
7.2	Qui organise la participation des parties prenantes et comment est-elle faite?	6
7.3	Identification et évaluation des principales parties prenantes	8
7.4	Mécanismes institutionnels pour la participation des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines	10
7.5	Fonctions des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines	12
7.6	Qui sont parties prenantes des eaux souterraines pour les organismes de bassins transfrontaliers?	13
7.7	Qu'est-ce que la communication et pourquoi est-elle importante dans la gestion des eaux souterraines?	13
7.8	Autres lectures	17
7.9	Exercice	18

MODULE 8

Les risques liés à l'eau souterraine

8.1	Introduction	4
8.2	Aspect quantitatif : la surexploitation	5
8.3	Aspects qualitatifs: la pollution	8
8.4	Évaluation de la pollution des eaux souterraines, la vulnérabilité des aquifères et la surexploitation	11
8.5	Protection des eaux souterraines	14
8.6	Résumé	16
8.7	References	18
8.8	Exercices	19

MODULE 9

Les eaux souterraines et la sécurité alimentaire

9.1	Introduction et contexte	4
9.2	Pourquoi l'utilisation d'eau souterraines pour l'irrigation est si populaire?	8
9.3	Impacts sur les moyens de subsistance	10
9.4	Une exploitation excessive et trop peu de l'eau souterraine pour l'irrigation est une préoccupation	14
9.5	Solutions à la sous et sur-utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation	15
9.6	La nouvelle approche: le lien entre la sécurité de l'eau, l'alimentation et l'énergie	17
9.7	Références et autres lectures	19
9.8	Exercice	20

MODULE 10

Les eaux souterraines et l'environnement

10.1	Introduction	4
10.2	L'interaction eau de surface et eau souterraine	4
10.3	Contamination des eaux souterraines	5
10.4	Écosystèmes tributaires des eaux souterraines (GDE)	8
10.5	Surexploitation des eaux souterraines	11
10.6	Les aspects environnementaux de la gestion des eaux souterraines	12
10.7	Le rôle des Organismes de Bassin pour la gestion environnementale des eaux souterraines	13
10.8	Références et autres lectures	14

MODULE 11

Eau souterraine et changement climatique

11.1	Introduction	4
11.2	L'eau souterraine dans le cycle hydrologique	5
11.3	Variabilité climatique et changement climatique	6
11.4	Scénarios de changement climatique	8
11.5	Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines	8
11.6	Changement climatique et croissance de la population	12
11.7	Implications pour les secteurs tributaires des eaux souterraines	13
11.8	Adaptation au changement climatique	13
11.9	Résumé	18
11.10	Références et lectures en ligne	19



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



EVALUATION DES BESOINS ET DU CADRE DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES ORGANISATIONS DE BASSINS TRANSFRONTALIERS EN AFRIQUE





CONTENU

MODULE 1

Evaluation des besoins et du cadre de Gestion des Eaux souterraines dans les Organisations de Bassins Transfrontaliers en Afrique

Evaluation des besoins et du cadre de Gestion des Eaux souterraines dans les Organisations de Bassins Transfrontaliers en Afrique

1.1	Introduction	4
1.2	Objectifs de l'étude d'évaluation des besoins	6
1.3	Méthodologie	6
1.4	Analyse SWOT	7
1.5	Résultats globaux	11
1.6	Recommandations	14
1.8	Références	16
1.9	Exercice:	19

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa

(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





EVALUATION DES BESOINS ET DU CADRE DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES ORGANISATIONS DE BASSINS TRANSFRONTALIERS EN AFRIQUE

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES:

Donner un aperçu des besoins en matière de gestion des eaux souterraines dans les Organismes africains de bassin transfrontalier de fleuve et lac, qui repose sur une évaluation détaillée des besoins effectuée en 2011-2012 (BGR / AGW-Net, 2013).

Comprendre les forces, faiblesses, opportunités et menaces, en prenant en compte la gestion des eaux souterraines partagées dans les Organismes de bassins transfrontaliers.

1.1 Introduction

Ce module présente les points saillants, et les raisons pour lesquelles le manuel de formation a été réalisé. Les documents présentés dans ce manuel proviennent d'une combinaison de matériaux pré-existants, des notes d'information de la série GW-Mate sur la gestion des eaux souterraines, du manuel de formation sur la gestion des eaux souterraines dans la GIRE (2010) de Cap-Net, et de l'évaluation des besoins spécifiques détaillés, menée dans neuf organismes de bassin en Afrique en vue de comprendre leurs besoins en matière de gestion des eaux souterraines (BGR / AGW-Net, 2013).

Les raisons de produire un manuel de formation sur la gestion des eaux souterraines transfrontalières sont doubles :

1. La première a trait à la nécessité de gérer tous les flux d'eau dans un cadre unitaire; et dans le contexte de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), est le bassin versant. Ce Manuel vise à intégrer non seulement la gestion des eaux souterraines et de surface, mais il vise également à le faire dans le contexte des bassins hydrologiques.
2. La deuxième est que, depuis l'adoption généralisée d'une approche intégrée de la gestion des ressources en eau dans les pays africains, de nombreuses nouvelles structures de gestion de l'eau ont été formées, souvent appelées Organismes de Bassin (OB) ou Agence de Gestion de Bassins (AGB). De nombreux bassins fluviaux sont en réalité transfrontaliers, c'est pourquoi la coopération internationale pour le développement dans le secteur de l'eau a de plus en plus mis l'accent sur les mécanismes de coopération transfrontalière.



Les eaux souterraines constituent la principale composante de l'eau douce disponible; elles jouent un rôle de plus en plus important dans le développement économique, dans l'approvisionnement en eau et la sécurité de l'eau, et dans la préservation de l'environnement en Afrique. Cependant, la gestion des eaux souterraines est souvent négligée et l'exploitation de la plupart des eaux souterraines a lieu en dehors de tout cadre de gestion à long terme ou de plan, et en fait souvent à l'insu ou en dehors de l'approbation des autorités de gestion des eaux concernées. Il est clair que l'accent doit être mis sur la gestion des eaux souterraines et qu'elle doit être gérée dans un cadre approprié et efficace.

Les organisations internationales de bassins fluviaux et des lacs jouent un rôle de plus en plus important dans la gestion transfrontalière de l'eau sur le continent africain. Un récent sondage réalisé sur toute l'Afrique, a montré la progression de la mise en œuvre de l'approche par bassin dans 60% des pays sondés, et des institutions en charge de la gestion des eaux souterraines sont mises en œuvre dans 47% des pays (AMCOW 2012). Comme la plupart des grands fleuves de l'Afrique sont transfrontaliers, il existe un lien étroit entre les décisions de gestion du bassin de rivière et de lac au niveau national et la gestion des bassins partagés au niveau international. Les structures de gestion de l'eau au niveau national sont la principale source d'information pour la prise de décision au niveau transfrontalier et même sont souvent la principale voie par laquelle les recommandations du niveau transfrontalier peuvent être mises en œuvre.

Un des points d'entrée pour la gestion améliorée des eaux souterraines est le soutien aux organismes africains internationaux (existants ou émergents) de bassins fluviaux, de lac et d'aquifères (OBT)¹ qui ont des mandats institutionnalisés sur la gestion intégrée des ressources en eau dans les domaines des ressources en eau partagées (AMCOW, SADC, INBO). Il est prévu que le renforcement des capacités des organismes de bassins transfrontaliers pour traiter de la gestion des eaux souterraines va promouvoir la collaboration et la coordination à l'échelle internationale et nationale, en plus d'intégrer la gestion des eaux souterraines dans la gestion globale des ressources en eau.

Il faut noter que les composantes de gestion (approches, compétences, mandats, cadres juridiques et institutionnels, et acteurs etc.), requises pour les organismes de bassins internationaux en charge de la gestion des eaux souterraines transfrontalières, sont différentes de celles d'une autorité nationale en charge d'un bassin local. Cependant, il ya aussi de nombreux besoins de gestion similaires, telles que l'évaluation des ressources, la surveillance, la gestion de la demande, le contrôle des effluents et de protection «comme» c'est le cas pour l'eau de surface, les structures nationales de gestion de l'eau sont la principale source d'information pour la prise de décision au niveau transfrontalier.

1 Y compris les organismes des eaux souterraines comme base de délimitation potentielle pour la gestion des eaux transfrontalières et désignant ces derniers comme «bassins d'aquifère». Le terme «bassin» a été élargi pour englober non seulement les bassins fluviaux et lacustres, mais aussi des unités aquifères.



Ce manuel s'adresse principalement aux autorités de bassin internationaux, ou Organismes de Bassins Transfrontaliers (OBT) en Afrique et il met l'accent sur les questions de gestion des eaux souterraines transfrontalières. Comme annoncé dans le paragraphe ci-dessus, il ya beaucoup de questions qui se chevauchent avec la gestion des eaux souterraines non partagées et celles-ci sont également abordées dans le manuel. Lorsque cela est possible, le manuel fournit également des exercices qui mettent l'accent sur la gestion des eaux souterraines transfrontalières, mais dans de nombreux cas, les exercices sont également valables pour les autorités de gestion des eaux souterraines.

1.2 Objectifs de l'étude d'évaluation des besoins

Ce module traite de la question de la capacité de gestion des eaux souterraines transfrontalières dans les Organismes internationaux de bassins fluviaux et de lacs en Afrique, sur la base d'une récente enquête d'évaluation des besoins effectuée dans neuf bassins fluviaux internationaux (BGR / AGW-Net, 2013).

Neuf OBT en Afrique ont fait l'objet d'enquête sur la situation actuelle, les progrès et des limites pour intégrer la gestion des eaux souterraines dans leur mandat et pratiques (BGR and IWMI, 2012). Les principales institutions ciblées pour l'évaluation des besoins étaient les secrétariats exécutifs des OBT et les autorités nationales en charge des eaux dans les Etats membres.

Les objectifs immédiats de l'étude d'évaluation des besoins sont :

Évaluer le cadre national et international actuel (juridique, institutionnel), les pratiques, les expériences et les capacités de gestion des eaux souterraines ;

Identifier et évaluer les points forts et faibles de la gestion intégrée des eaux souterraines dans le cadre de la gestion intégrée à l'échelle nationale et transfrontalière des ressources en eau ;

Sur la base de consultations avec les OBT, recommander des mesures stratégiques immédiates et à long terme pour soutenir un processus de renforcement de capacité à travers lequel les eaux souterraines sont progressivement et définitivement incluses et intégrées dans le mandat de OBT existants ;

Initier un processus et un réseau de partenaires (institutions, experts, décideurs, bailleurs de fonds et ONG) pour le développement et le maintien des capacités pour la gestion des eaux souterraines transfrontalières dans les OBT en Afrique.

1.3 Méthodologie

Neuf OBT sélectionnés (Fleuve Sénégal (OMVS), Fleuve Niger (ABN), la Volta (ABV), Lac Tchad (CBLIC), Aquifère des Grès Nubiens (NSAS), le Nil (NBI), Fleuve Okavango (OKACOM), Fleuve Orange-Senqu (ORASECOM), et Fleuve Limpopo (LIMCOM)) ont participé à l'étude qui comprenait des entrevues personnelles avec les représentants des organismes de bassins transfrontaliers ainsi que des fonctionnaires des institutions de gestion de l'eau dans les États membres respectifs (Tableau 1.1).



L'évaluation des besoins comporte trois parties :

1. Études de bureau pour développer de brefs profils de bassin individuel pour chacun d'eux;
2. Interviews avec le personnel clé impliqué dans la gestion des eaux souterraines dans les bassins; et
3. Analyses SWOT² basées sur les résultats obtenus des deux premières parties.

Dans un processus de consultation, les résultats de l'étude ont été examinés par les OBT respectifs, AGW-Net, ANBO, et AMCOW au Burkina Faso en février 2013. Leurs recommandations ont été utilisées pour l'élaboration de ce manuel de formation.

1.4 Analyse SWOT

Les analyses SWOT ont été effectuées dans chaque OBT et les résultats de toutes les analyses SWOT ont été regroupés et résumés ci-dessous.

POINTS FORTS DES OBT - RÉSUMÉ

Gouvernance:

1. Les OBT ont tendance à fonctionner dans le cadre d'un accord multi-état qui prévoit la possibilité d'un mandat de gestion des eaux transfrontalières.
2. Les OBT ont généralement un secrétariat permanent qui peut initier et gérer des programmes et des projets tels que la gestion des eaux souterraines transfrontières et des activités de suivi.
3. Les OBT peuvent fournir une plate-forme pour la mobilisation du soutien politique à l'échelle du bassin et pour amener les eaux souterraines sur l'agenda politique.
4. Les OBT ont une bonne plate-forme pour lever des fonds pour mener des activités sur les eaux souterraines transfrontières telles que le suivi.

Collaboration entre Etats riverains :

1. Les OBT peuvent être un point focal pour une meilleure collaboration politique et technique entre les Etats riverains.

Gestion et partage des données :

1. Les OBT peuvent fournir une plate-forme appropriée pour l'hébergement de données sur les eaux souterraines transfrontières, et la gestion et l'utilisation des données.

Renforcement des capacités :

1. Les OBT peuvent optimiser le renforcement des capacités de la gestion des eaux souterraines comme un point focal pour les programmes de formation à l'échelle du bassin de gestion des eaux souterraines transfrontalières.
2. Les OBT peuvent optimiser l'utilisation des capacités en fournissant une plate-forme pour la mise en commun de l'expertise technique rare des Etats riverains.

² Une analyse SWOT est un outil qui identifie les forces, faiblesses, opportunités et menaces d'une organisation. La méthode est utilisée pour analyser les informations à partir d'une analyse de l'organisation et le séparer en facteurs internes (forces et faiblesses) et externes (opportunités et menaces)..



FAIBLESSES DES OBT - RÉSUMÉ

Gouvernance:

1. Beaucoup de OBT sont des organes consultatifs et n'ont pas un mandat légal pour gérer les eaux souterraines transfrontières.
2. La plupart des OBT, traditionnellement, mettent l'accent sur la gestion des eaux de surface et les eaux souterraines peinent à être prises en compte.

Collaboration entre Etats riverains :

1. Beaucoup de OBT ne sont pas bien intégrés avec les autorités de gestion des eaux souterraines dans les pays riverains.
2. Il y a souvent une faible compréhension des questions liées aux eaux souterraines transfrontalières dans les OBT.
3. Les disparités dans les défis liés à l'eau souterraine et le contexte ainsi que le développement et la gestion des eaux souterraines donnent lieu à des objectifs différents entre les Etats.

Gestion et partage des données :

1. Beaucoup de OBT n'ont ni les données sur les eaux souterraines, ni le personnel qualifié, ni une plateforme informatique appropriée pour une base de données sur les eaux souterraines à l'heure actuelle.
2. Les accords sur le partage de données sont souvent limités et mal définis. Les protocoles de partage de données sont souvent inexistantes et les Etats riverains peuvent être réticents à partager leurs données dans de telles circonstances.
3. La plupart des accords des OBT ne comprennent aucune obligation légale pour les États de partager leurs données sur les eaux souterraines, même dans le contexte d'aquifères transfrontaliers.

Renforcement des capacités :

1. Beaucoup de OBT n'ont pas les compétences, le personnel ou l'équipement pour mener à bien la gestion des eaux souterraines transfrontalières.
2. Il ya souvent un manque d'intérêt à développer les capacités techniques des eaux souterraines dans les OBT, en raison de leur accent sur les ressources en eau de surface.



OPPORTUNITÉS DES OBT - RÉSUMÉ

Gouvernance:

1. Les OBT peuvent promouvoir la philosophie que les eaux souterraines devraient être gérées dans le cadre de la gestion du bassin hydrographique.
2. Les OBT sont bien placés pour prendre les devants dans la gestion des eaux souterraines transfrontières et le suivi des eaux souterraines partagées.
3. Il ya un intérêt international très fort pour amener la gestion des eaux souterraines dans le cadre de OBT.
4. Les OBT sont bien placés pour identifier les impacts importants sur les eaux souterraines transfrontalières sur l'écoulement des cours d'eau, la qualité de l'eau et la dégradation des nappes.

Collaboration entre Etats riverains :

1. Les OBT ont généralement de très bonnes relations avec les Etats riverains et peuvent porter le besoin d'une gestion des eaux souterraines transfrontalières.
2. Les OBT peuvent établir des groupes de travail multi-états avec les Etats riverains pour faire face à la gestion des eaux souterraines transfrontières et le suivi.
3. Les OBT peuvent promouvoir la gestion des eaux souterraines transfrontalières dans l'agenda politique des Etats riverains.
4. Les OBT peuvent lier la gestion des eaux souterraines transfrontalières à des projets en eaux souterraines existantes ou prévus dans les Etats riverains.

Gestion et partage des données:

1. Les OBT ont la possibilité d'élaborer un protocole sur le partage de données sur les eaux souterraines pour les aquifères transfrontaliers au sein de leurs bassins hydrographiques.
2. Les OBT ont la possibilité de stimuler la création d'une large base de données sur les eaux souterraines à l'échelle du bassin et d'encourager les États riverains à partager celles-ci.
3. Les OBT ont la possibilité de soutenir les initiatives régionales concernant les eaux souterraines.
4. Les OBT sont directement intéressés et bien placés aussi pour établir l'importance du lien entre les prélèvements d'eaux souterraines et le débit, d'une part et les variations de la qualité de l'eau dans les fleuves internationaux, d'autre part.

Renforcement des capacités :

1. Il ya une possibilité d'utiliser des experts des ministères en charge des eaux souterraines des Etats riverains pour soutenir la capacité des OBT.
2. Les OBT peuvent travailler avec AMCOW pour promouvoir l'institutionnalisation de la gestion des eaux souterraines par les organismes de bassin.
3. Les OBT ont la possibilité de relier les initiatives régionales de développement des capacités des souterraines soutenues par des les donateurs.
4. Les OBT peuvent identifier les besoins de capacité de la gestion des eaux souterraines transfrontières dans les pays riverains.
5. Les OBT ont la possibilité d'accueillir / mettre en œuvre des cours de formation et autres activités de développement des capacités dans le domaine de la gestion des eaux souterraines transfrontalières.



MENACES DES OBT - RÉSUMÉ

Gouvernance:

1. Les OBT n'ont souvent pas les moyens financiers pour mener à bien des programmes de gestion et de suivi des eaux souterraines transfrontières.
2. Beaucoup de OBT sont des organismes consultatifs et n'ont pas de mandat légal d'exécuter des programmes sur les eaux souterraines transfrontalières.
3. Beaucoup de OBT manquent de stratégies et procédures pour l'intégration des eaux souterraines dans les structures de gestion des ressources en eau du bassin fluvial.
4. Il existe souvent des ressources et un pouvoir politique incompatibles entre les Etats riverains, ce qui peut nuire à un accord sans heurt sur la gestion des eaux souterraines transfrontalières.

Collaboration entre Etats riverains :

1. Les Etats riverains peuvent rejeter le rôle des OBT dans la gestion des eaux souterraines transfrontalières.
2. Les complexités techniques peuvent rendre difficile de bien comprendre les écoulements des eaux souterraines transfrontières et donc à obtenir le soutien des Etats riverains, en particulier dans les situations de conflit.
3. Beaucoup de OBT n'ont pas de mandat légal d'appliquer les décisions concernant les eaux souterraines transfrontalières.
4. Il peut y avoir un manque d'intérêt commun, ou des conflits d'intérêts, des Etats membres sur les questions de l'eau souterraine.

Gestion et partage des données :

1. Certains Etats riverains peuvent être réticents à partager des données sur les eaux souterraines.
2. Les Etats riverains ont des systèmes de stockage de données qui peuvent être incompatibles
3. Manque de connaissance sur les ressources en eaux souterraines.
4. Le manque d'informations crédibles / précises sur les principales utilisations des eaux souterraines dans le bassin
5. La durabilité du mécanisme de collecte de données et de partage n'est pas assurée.

Renforcement des capacités :

1. Capacité limitée dans le bassin pour entreprendre des activités de gestion des eaux souterraines
2. Les Etats riverains peuvent ne pas accepter la nécessité d'un renforcement des capacités en matière de gestion des eaux souterraines transfrontières.
3. Le financement pour le renforcement des capacités peut être indisponible.



1.5 Résultats globaux

L'étude a montré que, malgré la conscience naissante pour l'adoption de cadres juridiques internationaux et la promotion internationale, la gestion des eaux souterraines transfrontalières dans les OBT n'a pas encore été pleinement prise en compte. Les facteurs encourageants, tels que le plaidoyer international, et le soutien financier et technique, doivent être soutenus par un engagement politique et un développement des capacités à tous les niveaux. Parce que les OBT sont toujours aux prises avec leurs mandats actuels, principalement liés à la gestion de l'eau de surface, les défis supplémentaires de gestion des eaux souterraines devront être progressivement intégrés.

Il est clair que l'eau de surface et l'eau souterraine doivent être gérées de manière cohérente. Il ya quelques défis structurels inhérents à une telle approche. L'extension des bassins de cours d'eau et celle des systèmes d'eaux souterraines sous-jacentes sont souvent radicalement différentes (BGR et al., 2012, voir Fig. 1.1), ce qui rend la gestion des eaux souterraines par les organismes de bassin fluvial complexe. En outre, dans les régions arides, en raison de l'absence d'eau de surface, il est plus raisonnable d'utiliser les aquifères dans les bassins hydrogéologiques comme base pour les organismes de gestion de l'eau dans ces zones. En outre, il est noté un manque d'information adéquate sur la distribution et l'étendue des ressources en eaux souterraines dans de nombreuses parties du monde; ce qui fait qu'il ya un besoin spécifique d'investissement pour améliorer les capacités d'évaluation et de suivi des eaux souterraines. En dépit de ces facteurs, le soutien mondial fort et le progrès vers la GIRE dans les bassins fluviaux internationaux est tel qu'ils sont toujours considérés comme les organisations appropriées pour gérer les aquifères transfrontaliers.

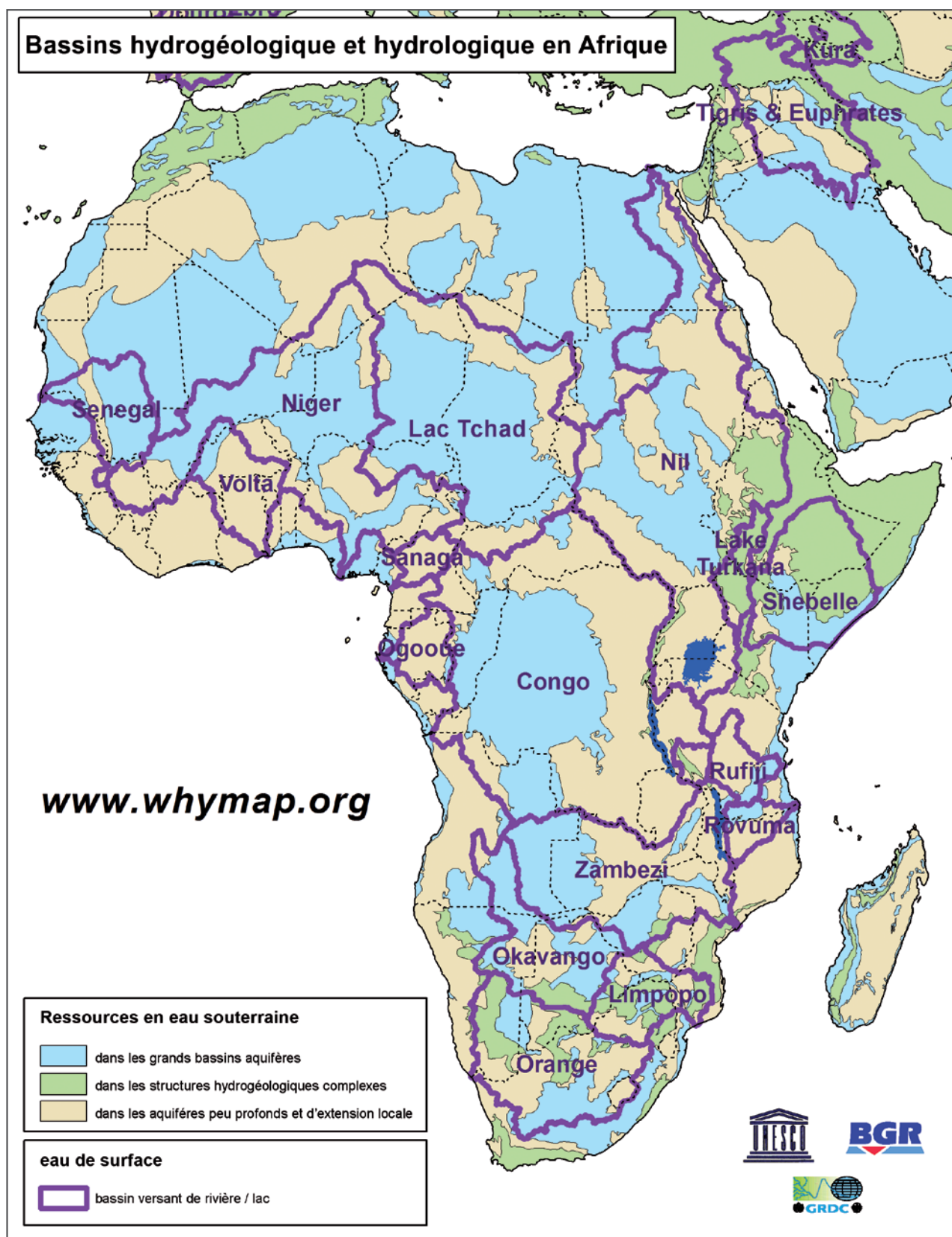


Figure 1.1 Aquifères transfrontaliers et bassins fluviaux internationaux en Afrique.

Tous les OBT étudiés sont différents en termes de géographie, de taille et de mandat (voir le tableau 1.1).



Tableau 1.1 Données clés sur les bassins et de leurs organismes

Bassin	Les pays riverains	Superficie (km ²)	Population (mill.)	OBT (créé)	Mandat ^a	ABT Associés ^b	Ref. rapport profil de bassin
Orange-Senqu	Botswana, Lesotho, Namibie, Afrique du Sud	896 000	19	ORASECOM (2000)	Cons, A, Coor, I	4	Abiye, 2012
Limpopo	Botswana, Mozambique, Zimbabwe, Afrique du Sud	410.000	14	LIMCOM (2003)	Cons, A	3	Owen, 2012
Okavango	Angola, Botswana, Namibie, (Zimbabwe) ^c	430 000	0.7	OKACOM (1994)	Cons, A, Coor, R	2-5	Mapani, 2012
Nil	Burundi, Congo, Egypte, Érythrée, Ethiopie, Kenya, Rwanda, Soudan, Tanzanie, Ouganda	3 100 000	160	NBI (1999)	Cons, A, Coor, I	7	Mirghani and Tindimugaya, 2012
Grès Nubiens	Tchad, Egypte, Libye, Soudan	2 200 000	0.14	NSAS (1999)	Cons, A	-	Mirghani, 2012
Sénégal	(Guinée) ^d , Mali, Mauritanie, Sénégal	300 000	5	OMVS (1972)	Cons, A, Coor, I, R, Conf, P	2	Diene, 2012
Niger	(Algérie) ^e , Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Tchad, Guinée, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Nigéria	2 000 000	109	NBA (1980)	Cons, A, Coor, I, R	3	Menge and Jäger, 2012
Volta	Bénin, Burkina Faso, Mali Ghana, Côte d'Ivoire, Togo	400 000	19	VBA (2006)	Cons, A, Coor, I, R	1	Jäger, 2012
Tchad	(Algérie), Cameroun, Tchad, Centrafrique, (Libye) ^f , Niger, Nigéria, (Soudan) ^g	2 300 000	30	LCBC (1964)	Cons, A, Coor, R	2	Vassolo, 2012

Les rapports individuels pour les neuf OBT ont été produits dans le cadre de l'étude.

Ces documents sont disponibles à : http://www.splash-era.net/search_outputs2.php

^a Cons: consultatif, A: conseil, Coor: coordination, P: élaboration des politiques, I: mise en œuvre, R: réglementaire, Conf: arbitrage des conflits, TBAs: aquifères transfrontaliers

^b Acc. to WHYMAP (BGR, UNESCO, 2006). Réservations existent, en raison de l'incertitude de l'étendue des ABT (e.g. Okavango)

^c Zimbabwe fait partie de la partie inactive du bassin, et n'est pas membre de OKACOM

^d Guinée est maintenant membre à part entière de l'OMVS, mais n'est pas signataire du traité portant création de l'OBT

^e Algérie n'est pas un membre à part entière de l'ABN, mais il a le statut d'observateur

^f La Libye est maintenant membre à part entière de la CBLT, mais n'est pas signataire du traité portant création de l'OBT

^g Les nations entre parenthèses ne sont pas signataires du traité de la CBLT



1.6 Recommandations

Sur la base de l'étude d'évaluation des besoins, les recommandations générales suivantes peuvent être avancées pour améliorer la gestion des eaux souterraines dans les OBT.

En ce qui concerne le volet juridique :

1. Le draft des articles de l'ONU à la Commission des Nations Unies pour le droit international (UNILC) sur les aquifères transfrontaliers et la Convention de 1997 sur l'utilisation des cours d'eau non navigables peuvent être utilisés comme guide par les OBT pour la gestion des eaux souterraines transfrontalières.
2. Les propriétés particulières des ressources en eaux souterraines doivent être spécifiquement abordées dans les cadres juridiques, par exemple, la réponse différée, la vulnérabilité relative des aquifères, l'accès et l'utilisation décentralisés de la ressource.

En ce qui concerne le cadre institutionnel et la prise de décision :

1. Les comités de gestion des eaux souterraines des OBT doivent être créés (avec au moins un expert eau souterraine / hydrogéologue) afin de mettre l'accent sur les questions relatives à l'eau souterraine dans les organismes.
2. Des bases de données centralisées des aquifères transfrontaliers doivent être maintenues au sein des OBT et dans les pays riverains, en plus des protocoles clairs de partage de données incluant les eaux souterraines doivent être mises en place.
3. Tous les OBT devraient élaborer des plans stratégiques d'action et d'investissement pour les eaux souterraines dans leur bassin.
4. Il faut appliquer des méthodes d'évaluation interdisciplinaires et intersectorielles pour l'approvisionnement en eau, la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique, la préservation de l'environnement impliquant les eaux souterraines. Il faut aussi l'analyse socio-économique et coûts-avantages de l'exploitation des eaux souterraines, afin de prioriser l'utilisation et l'estimation des ressources en eaux souterraines.

En ce qui concerne la viabilité financière:

1. Les Communautés régionales de développement (SADC, CEDEAO, IGAD) devraient être davantage engagées dans la gestion des eaux souterraines transfrontalières, dans l'amélioration des moyens mis sur les eaux souterraines, dans le but de faciliter le soutien des bailleurs de fonds multilatéraux et celui des organisations internationales en charge de l'eau. (e.g. UNESCO-PIH, UNECE, AIH, IAHS, AIEA)
2. Le plaidoyer doit être axé sur les décideurs politiques afin de promouvoir l'intérêt et l'engagement politique pour la gestion des eaux souterraines, ce qui devrait faciliter un soutien financier aux OBT.

En ce qui concerne le renforcement des capacités (RC) et la sensibilisation :

1. Utiliser les organisations et les programmes de RC existants en Afrique pour renforcer les capacités au sein des OBT. (GWP, WaterNet, AGW-Net, Cap-Net, WRC, CoE on Water, NEPAD Water CoE, and IW:LEARN)



2. Augmenter le personnel avec un profil d'hydrogéologue dans les OBT. Il est également essentiel d'améliorer les connaissances et les compétences du personnel existant des eaux souterraines.
3. Améliorer la communication entre les OBT et l'expertise dans le domaine des eaux souterraines, qui existe dans les pays riverains et dans le milieu universitaire.
4. Plutôt que de partir de zéro, les OBT devraient utiliser, reproduire, et élargir les cadres existants pour améliorer la participation et la sensibilisation du public pour aborder les questions relatives à l'eau souterraine dans les bassins. (ex. comme dans NBI and ORASECOM)
5. Accroître la visibilité des avantages (pour les politiciens et le public) de la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassin en retravaillant l'information sur les questions relatives à l'eau souterraine afin que les non-experts soient en mesure de les comprendre.

1.7 Le manuel de formation.

Ce manuel de formation a été élaboré en réponse aux besoins exprimés par les OBT participant à l'étude. Le manuel vise à fournir des orientations spécifiques sur la gestion des eaux souterraines à des organismes de bassins transfrontaliers en Afrique.

Lors de la préparation de ce manuel, il est devenu évident que la plupart du matériel de formation disponible sur la gestion des eaux souterraines est orientée vers la gestion des eaux souterraines en général et moins vers des situations spécifiquement transfrontalières. Ce manuel tente de fournir un certain équilibre, avec un accent sur des aspects transfrontaliers de la gestion des eaux souterraines. Néanmoins, les principes généraux de la gestion des eaux souterraines sont inclus car ils peuvent, dans de nombreux cas, s'appliquer à des situations transfrontalières.

Bien que ce manuel soit orienté vers la gestion des eaux souterraines par les OBT, il faut comprendre qu'il ya beaucoup de questions auxquelles les OBT font face et qui ont un impact sur la gestion des eaux souterraines, mais qui n'entrent pas dans le champ d'application et la portée d'un manuel de formation sur la gestion des eaux souterraines dans les OBT. La viabilité financière est peut-être un de ces domaines.

Le but principal de ce manuel est de fournir au personnel technique et professionnel des OBT avec la compréhension et les compétences nécessaires pour améliorer leur capacité à gérer les eaux souterraines transfrontalières. Toutefois, le manuel met également en évidence les limites juridiques et institutionnelles auxquelles les OBT sont confrontées eu égard à leur mandat et leur capacité professionnelle.

Lorsque cela est possible, les exercices du manuel mettent l'accent sur des situations transfrontalières et fournissent une occasion pour le personnel des OBT de travailler sur ceux-ci avec les facilitateurs de cours et de les comparer aux conditions auxquelles ils sont confrontés dans leur propre milieu de travail.



1.8 Références

Altchenko, Y. and K.G. Villholth, 2013.

Transboundary aquifer mapping and management in Africa: a harmonised approach.

Hydrogeol. J. 21(7), 1497-1517. DOI 10.1007/s10040-013-1002-3.

AMCOW, 2012.

Status report on the application of integrated approaches to water resources management in Africa.

BGR and IWMI, 2013.

Needs Assessment to Support Groundwater Management in International Basin Organizations of Africa.

Available at:

http://www.splash-era.net/downloads/groundwater/Needs_assessment_GW_final.pdf

BGR, UNESCO, and WHYMAP, 2012.

River and groundwater basins of the world.

BGR and UNESCO, 2006.

WHYMAP and the World Map of Transboundary Aquifer Systems at the scale of 1 : 50 000 00

(Special Edition for the 4th World Water Forum, Mexico City, Mexico, March 2006).

Braune, E., and Y. Xu, 2011.

Transboundary Aquifer Utilization and Management in Southern Africa.

ISARM-SADC since 2005. A Position Paper for the UNESCO Cluster Office, Harare. 53 pp.

GTZ, 2008.

Strengthening Cooperation among River Basin Organizations. A Comparative Study of the Linkages between River/lake Basin Organizations and the Respective Cooperating National Governments in Seven Major African Basins.

Authors: K. Pietersen and H.E. Beekman. Draft Final Report. 96 pp.

IGRAC, 2012.

Transboundary Aquifers of the World. Map 1 : 50 000 000. Update 2012

(Special Edition for the 6th World Water Forum, Marseille, France, Turkey, March 2012).

Scheumann, W. and E. Herrfahrdt-Pähle (eds.), 2008.

Conceptualizing cooperation on Africa's transboundary groundwater resources.

DIE, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik. German Development Institute. Bonn. 394 pp. ISSN 1860-0468.

UNESCO, 2009.

Transboundary Aquifers: Managing a Vital Resource.

UNILC Draft Articles on the Law of Transboundary Aquifers (Ed. R.M. Stephan). 24 pp.



Lectures Complémentaires

Braune, E. and , Y. Xu, 2008.

Groundwater management issues in Southern Africa - An IWRM perspective.

Water SA, 34(6) 699 - 706. ISSN 0378-4738.

Eckstein, Y. and Eckstein, G. E., 2003.

Ground water resources and international law in the Middle East peace process.

Water International, 28 (20), 154-161. DOI:10.1080/02508060308691680.

GW-MATE, 2006.

Groundwater monitoring requirements for managing aquifer response and quality threats. Briefing Note Series, Note 9.

Authorrs: A. Tuinhof, S. Foster, K. Kemper, H. Garduño, M. Nanni

INBO and GWP, 2012.

The Handbook for Integrated Water Resources Management in Transboundary Basins of Rivers, Lakes and Aquifers.

March, 2012. 120 pp. ISBN : 978-91-85321-85-8.

SADC, 2005.

Regional Strategic Action Plan on Integrated Water Resources Development and Management. Annotated Strategic Plan.

2005 to 2010. 75 pp.

UNECE, 2000.

Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary Groundwaters.

Lelystad, UNECE Task Force on Monitoring and Assessment, under the Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes (Helsinki 1992).

ISBN 9036953154.

UNESCO, 2010.

Transboundary Aquifers. Challenges and New Directions.

Abstracts, ISARM, 2010 International Conference. Dec. 6 - 8, 2010. Paris, France. 188 pp.

UNESCO-IHP, 2009.

Sharing an Invisible Water Resource for the Common Good: How to Make Use of the UN General Assembly Resolution on the Law of Transboundary Aquifers.

Seminar convened by UNESCO-IHP, with SIWI, IAH and BGR. Report prepared by Raya Marina Stephan (UNESCO-IHP). 6 pp

Annexe 1 Rapports sur les organismes de bassin

(à télécharger: http://www.splash-era.net/search_outputs2.php)



Abiye, T.A., 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment: Orange-Senqu River Basin Commission (ORASECOM).

AGW-Net.

BGR / AGW-Net. 2013.

Needs Assessment to Support Groundwater Management in International Basin Organizations of Africa.

http://www.splash-era.net/downloads/groundwater/Needs_assessment_GW_final.pdf

Cap-Net. 2010.

Groundwater Management in IWRM.

Training Manual.

Diene, M., 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

Senegal River Basin Commission (OMVS), AGW-Net.

Jäger, M., 2012.

Basin Profile Groundwater Needs Assessment:

Volta River Basin, BGR.

Mapani, M., 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

Okavango-Cubango River Basin, Univ. of Namibia and WaterNet.

Menge, S. and M. Jäger, 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

Niger River Basin (ABN), BGR.

Mirghani, M., and C. Tindimugaya, 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

Nile Basin Initiative (NBI), Nile IWRM-Net and AGW-net.

Mirghani, M., 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

Nubian Sandstone Aquifer System (NSAS). Nile IWRM-Net

Owen, R., 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

The Limpopo Watercourse Commission (LIMCOM), AGW-Net

Vassolo, S.I., 2012.

Basin Profile for Groundwater Needs Assessment:

Lake Chad Basin Commission (LCBC), BGR.



Evaluation des besoins et du cadre
de Gestion des Eaux souterraines
dans les Organisations de Bassins
Transfrontaliers en Afrique

1.9 Exercice:

- Par rapport à votre OBT, pouvez-vous identifier les forces, faiblesses, opportunités et menaces?
- Quelles sont vos principales préoccupations en ce qui concerne les questions relatives aux eaux souterraines transfrontalières?

Par exemple

Titre: L'évaluation des besoins pour la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassins transfrontaliers.

Objectif: Explorer la façon dont les eaux souterraines sont gérées dans les structures nationales et transfrontalières de gestion de l'eau.

Activité: 1,5 – 2 h

1. **Travailler en groupe, soit par organisme de bassin ou par pays.**
2. **Discutez des questions suivantes :**

- Quelles sont les structures clés de gestion de l'eau à l'échelle du bassin?
- Comment la gestion de l'eau de surface et celle des eaux souterraines sont intégrées dans ces structures?
- Quels sont les points forts du système de gestion?
- Quels sont les points faibles?
- Quelles mesures recommanderiez-vous pour améliorer la gestion intégrée de l'eau de surface et de l'eau souterraine?

Compte rendu

Chaque groupe fera un compte rendu sur chaque question 10-15 mn, puis 20 mn de discussion générale.

Notes au Facilitateur : Essayez de garder le focus sur le niveau opérationnel de la gestion. Rappelez-vous qu'il ya différents types de structures en place et que l'eau souterraine peut être gérée par une structure totalement distincte. Pour les organismes de bassins transfrontaliers, essayer de trouver leurs relations avec les structures nationales des pays participants.

Enfin, il faut considérer comment les points soulevés par les participants peuvent être pris en charge par le cours.



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU ET CADRE DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES





CONTENU

MODULE 2

Gestion Intégrée des Ressources en Eau et cadre de gestion des eaux souterraines

2.1	Introduction	4
2.2	Les eaux souterraines dans le cycle hydrologique	5
2.3	Caractéristiques des eaux souterraines	8
2.4	Utilisation durable des eaux souterraines	9
2.5	Qu'est-ce que la GIRE?	10
2.6	Principes et cadre de la GIRE	11
2.7	Gestion des eaux souterraines dans les bassins versants	13
2.8	Résumé	19
2.9	Références	19
2.10	Exercice	20

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa

(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: IWMI





GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU ET CADRE DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

Apprécier les caractéristiques des eaux souterraines dans le contexte de toutes les ressources en eau douce disponibles

Comprendre les défis de la gestion des eaux souterraines et la nécessité de l'amélioration des approches pour résoudre les problèmes de gestion des ressources

Comprendre les principes et les thèmes clés de la GIRE eu égard à la gestion conjointe eau surface-eau souterraine

Mettre l'accent sur les principaux avantages de l'intégration de la gestion des eaux souterraines dans la planification nationale et à l'échelle du bassin fluvial

2.1 Introduction

Une des pierres angulaires de la philosophie de la GIRE est que l'unité de base de gestion de l'eau devrait être un «bassin versant» ou «bassin de cours d'eau de surface». Un bassin versant est une entité physique naturelle qui dispose d'un système intégré contiguë d'eau de surface avec un exutoire unique. La gestion de l'eau par bassin versant est donc basée sur la réalité écologique physique. En raison de cette philosophie de base, de nombreux pays gèrent désormais leur eau par bassin versant, et de nombreux organismes de bassin (OB) et d'autres Autorités de gestion de l'eau de bassins versants ont été créés.

La gestion conjointe des eaux souterraines et des eaux de surface est également un principe directeur de la GIRE. Cependant, la gestion intégrée des eaux de surface et souterraines a pris du retard dans de nombreux organismes de bassin pour diverses raisons. Il s'agit notamment de la séparation (traditionnelle) institutionnelle de la gestion des eaux souterraines et de surface, de la différence de systèmes de connaissances et de compétences nécessaires aux eaux de surface et eaux souterraines, et le fait que les systèmes aquifères peuvent ne pas coïncider avec les frontières des bassins hydrographiques. Les aquifères peuvent être transfrontaliers entre bassins fluviaux adjacents, et / ou partagés entre deux ou plusieurs Etats. (Cf. Module 4: Gestion des aquifères transfrontaliers).

Compte tenu de leur importance primordiale dans la gestion régionale des eaux transfrontalières en Afrique, les organismes de bassin ont une occasion unique d'intégrer pleinement la gestion des eaux souterraines et des eaux de surface, et de gérer ainsi les ressources en eau des bassins versants de manière optimale et durable.

Le but premier de ce cours est de promouvoir cet objectif en donnant une compréhension globale de la gestion des eaux souterraines dans la GIRE et en fournissant des

outils pour les gestionnaires de l'eau du bassin versant, afin qu'ils puissent être en mesure de gérer de manière conjointe les eaux souterraines avec les ressources en eau de surface.

Gestion Intégrée des Ressources
en Eau et cadre de gestion des
eaux souterraines

2.2 Les eaux souterraines dans le cycle hydrologique

- Le cycle hydrologique est le processus continu circulaire par lequel l'eau s'évapore des océans, se condense et tombe sur la Terre sous forme de pluie ou de neige, devient un ruissellement et une recharge des nappes, ensuite revient éventuellement dans les océans par écoulement de rivière et de décharge des eaux souterraines. (Figure 2.1).
- Les implications du cycle hydrologique sont que l'eau de surface et l'eau souterraine ne peuvent être durablement gérées séparément puisqu'ils sont inextricablement liés dans le cycle de l'eau.

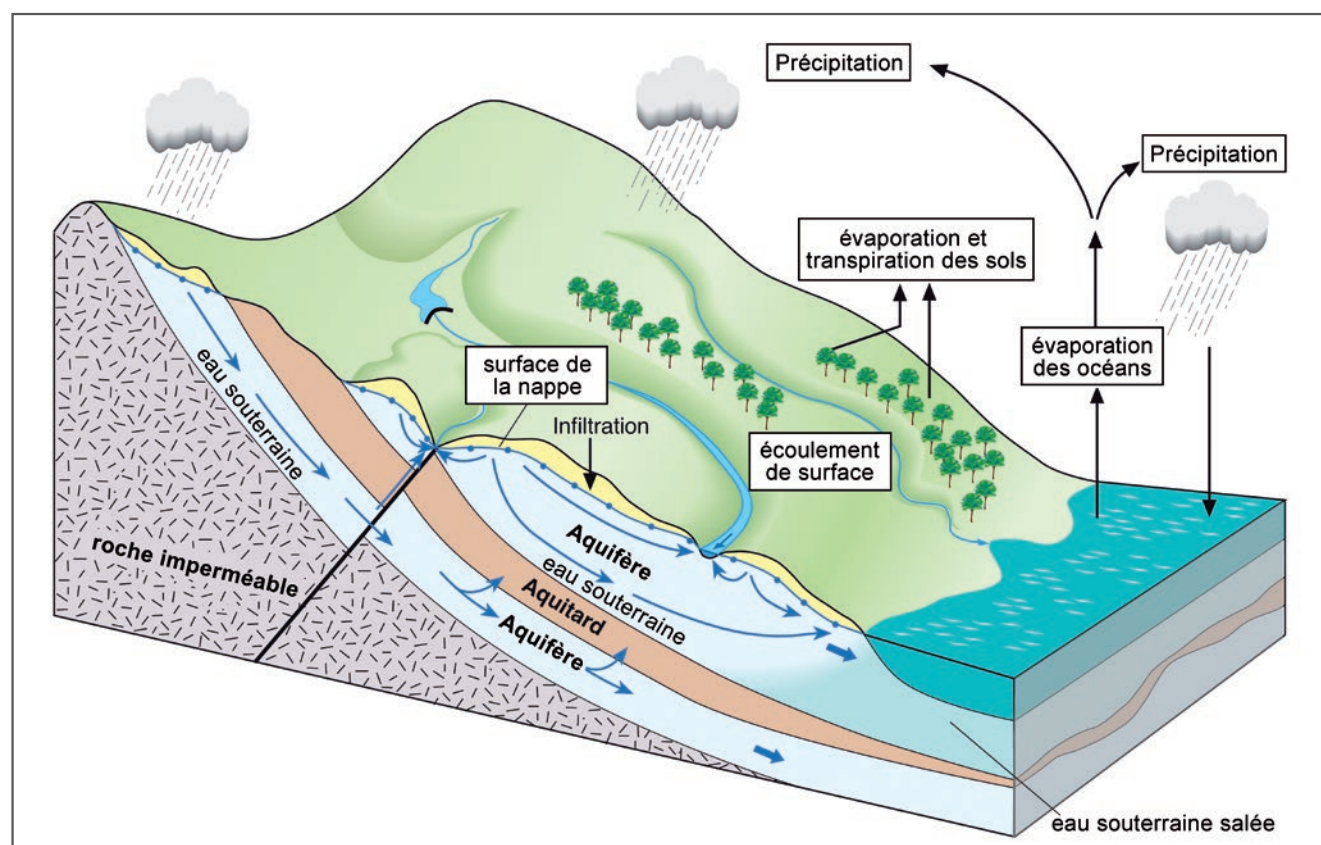


Figure 2.1 Cycle hydrologique : liens entre eaux surface et souterraines.



Importance des eaux souterraines

- Bien que l'eau souterraine soit la partie cachée du cycle hydrologique, elle représente un volume beaucoup plus important que l'eau de surface. Les eaux souterraines représentent 97% de l'eau douce non gelée sur notre planète (Figure 2.2)
- Le ratio eau de surface / eau souterraine en Afrique est similaire (Figure 2.3), avec les eaux souterraines (5,5 millions km³) dépassant les ressources en eau de surface disponibles (31 776 km³).
- L'Afrique dispose de ressources en eaux souterraines abondantes, et paradoxalement la plupart des plus grands aquifères sont situés soit dans le riche et humide bassin du Congo ou dans les zones du Sahara au peuplement dispersé (Fig 2.4)
- Les eaux souterraines constituent la principale source d'eau pour l'usage domestique de plus de 2 milliards de personnes dans le monde - soit près de 30% des 7 milliards de la population mondiale estimée. Il est souvent la seule source d'eau pour tous les usages pour les communautés rurales dispersées dans les régions semi-arides
- Le rapide développement mondial de ces dernières décennies a été considérablement soutenu par les eaux souterraines, comme une source d'eau à faible coût, résistant à la sécheresse et (surtout) disponible pour l'approvisionnement en eau de haute qualité pour les populations urbaines et rurales, et aussi pour l'irrigation (Module 9 : Les eaux souterraines pour la production alimentaire.)
- Il est la principale source d'eau pour de nombreuses mégapoles (Mexico City, Dhaka, Dar es Salam, etc.)
- L'eau souterraine est sous-exploitée dans de nombreuses régions du continent
- L'utilisation supplémentaire et durable des eaux souterraines sera essentiel pour la réalisation des «Objectifs du Millénaire pour Développement », ainsi que l'adaptation au changement climatique (Module 11: Les eaux souterraines et les changements climatiques)

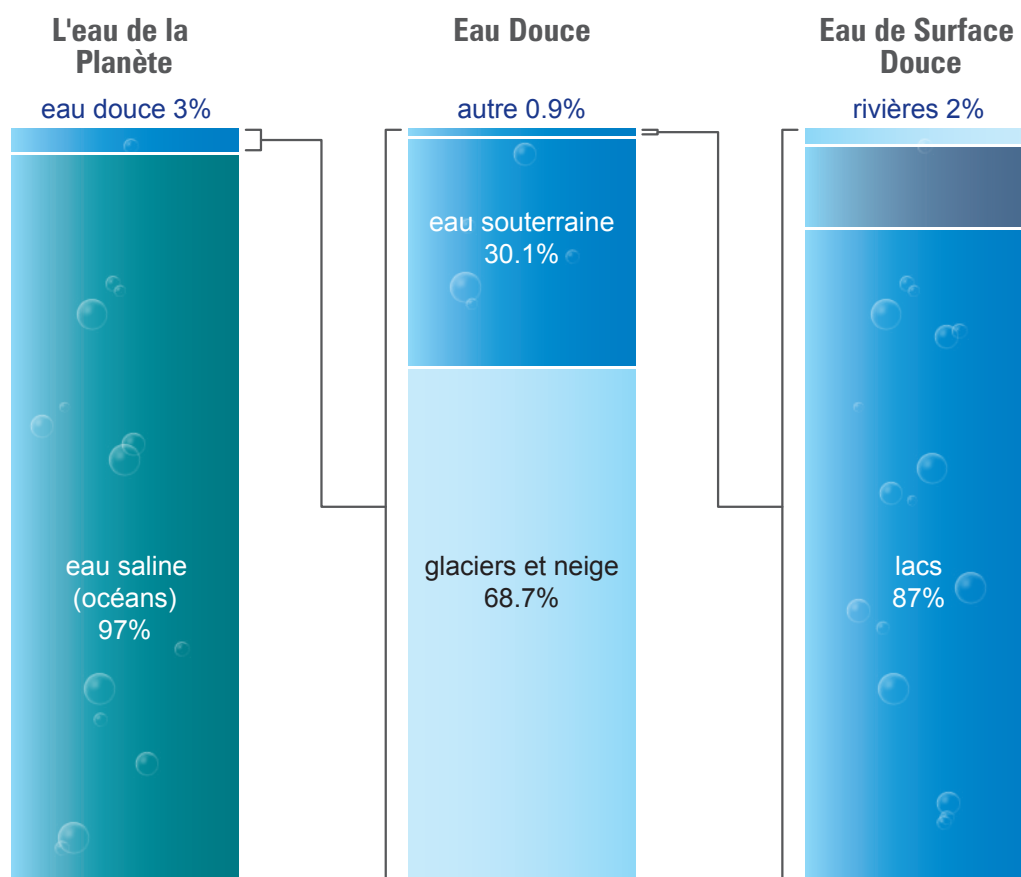
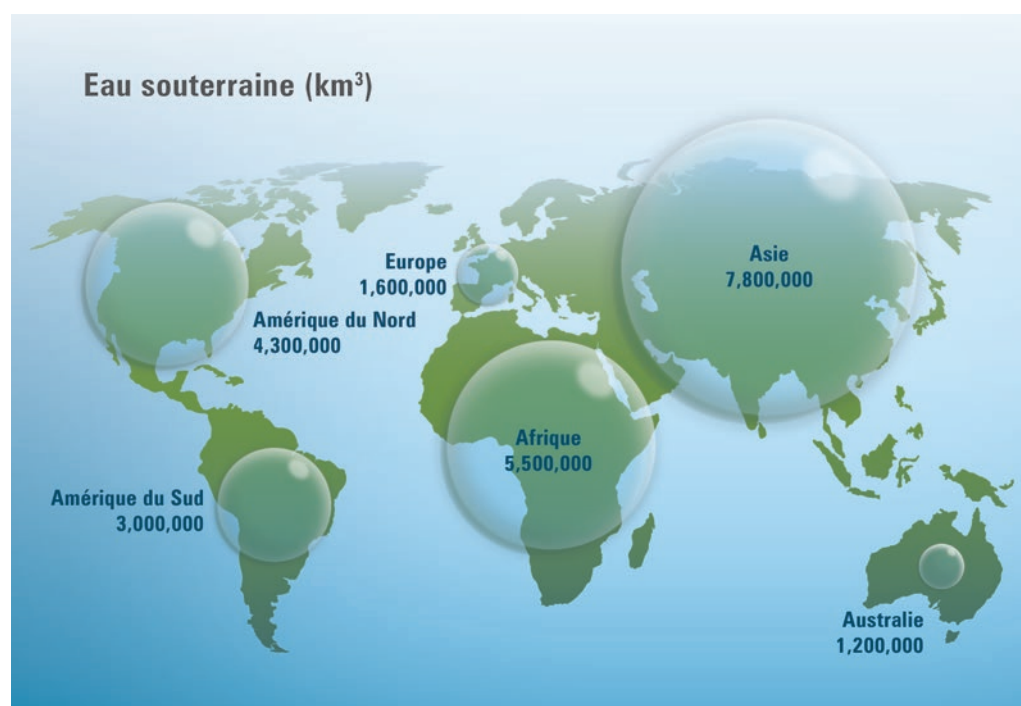


Figure 2.2 Répartition des ressources en eau douce de la terre


 Figure 2.3 Répartition régionale des ressources mondiales en eau souterraine. Source: PNUE, 2008. <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article32.html>



2.3 Caractéristiques des eaux souterraines

Outre son importance en termes de quantité, l'eau souterraine a un certain nombre d'autres caractéristiques naturelles et physiques qui font d'elle une ressource importante pour le développement économique et social. (Tableau 2.1)

Cependant, bien que les eaux souterraines aient des caractéristiques positives, il ya certaines questions essentielles qui rendent complexe et difficile la gestion des eaux souterraines

L'eau souterraine est invisible et souvent il ya très peu de données disponibles sur sa distribution physique, ainsi que sur les caractéristiques des aquifères

L'écoulement des eaux souterraines dans les systèmes aquifères est difficile à déterminer et peut varier dans le temps en raison des pompages, de la décharge naturelle et la recharge, du changement climatique, etc.

Il ya généralement de nombreux utilisateurs isolés captant les eaux souterraines, ce qui rend la surveillance des prélèvements ainsi que des usagers complexe

L'interaction entre l'eau de surface et l'eau souterraine est souvent mal comprise, mais peut avoir de grandes implications pour les décisions de gestion.

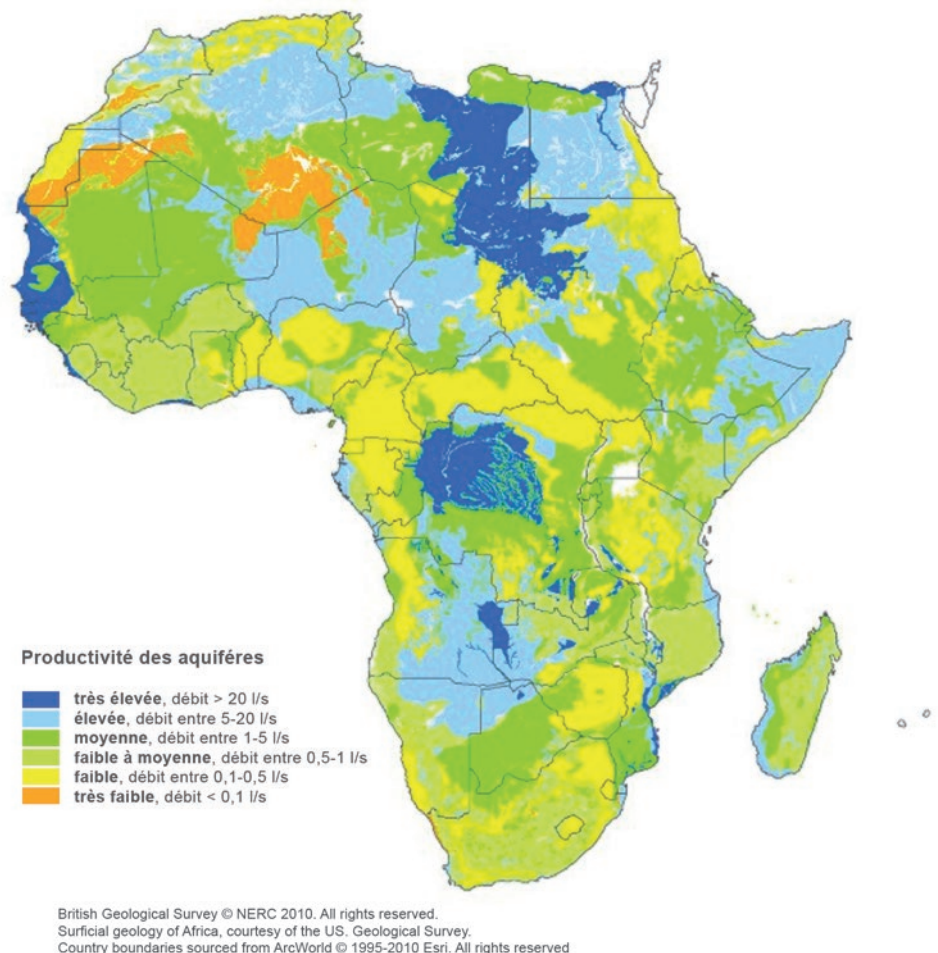


Figure 2.4 Carte productivité des aquifères de l'Afrique. Source: British Geological Survey, 2011.
<http://www.bgs.ac.uk/research/groundwater/international/africangroundwater/mapsDownload.html>


Tableau 2.1 Caractéristiques bénéfiques des ressources en eaux souterraines

Caractéristiques	Explication
Disponible partout	L'eau souterraine peut être trouvée presque partout (pas nécessairement avec les quantités souhaitées)
Naturellement protégée	L'eau souterraine est protégée contre la pollution directe et l'évaporation, et souvent fournit de l'eau potable sans traitement
Notre plus grand réservoir	Le stockage des eaux souterraines mondiales est vaste, offrant un tampon qui peut être utilisé pour atténuer la sécheresse et la pénurie d'eau
Ressource inexploitée	Il existe de nombreux aquifères inexploités qui peuvent fournir de l'eau pour les besoins futurs si ils sont gérés de manière durable. Cela est particulièrement vrai en Afrique (par exemple, Addis-Abeba et Dar es-Salaam)
Température stable	Les eaux souterraines sont de plus en plus utilisées comme une source importante et sûre d'énergie renouvelable pour le chauffage et le refroidissement, bien que cet usage soit encore mineur en Afrique.
Fonction environnementale	Le débit de base des cours d'eau en saison sèche est maintenue par la recharge des nappes d'eau souterraine. Les écosystèmes dépendants des eaux souterraines (GDE) comme les zones humides fournissent des services environnementaux vitaux.
Épuration naturelle	Les sols et les couches aquifères ont la capacité d'améliorer la qualité de l'eau par la dégradation et la sorption de la diversité biologique et des contaminants chimiques.

2.4 Utilisation durable des eaux souterraines

Dans le monde entier, l'exploitation durable et la gestion des ressources en eau est reconnue comme un objectif ultime des stratégies nationales de l'eau. La durabilité des eaux souterraines est étroitement liée à une série de questions micro et macro-politiques qui influent sur l'eau et l'occupation du sol, et représente l'un des grands défis mondiaux en matière de gestion des ressources naturelles.

Alors que le volume d'eau souterraine stocké est vaste (plus de 97% des réserves d'eau douce), sa reconstitution par recharge n'est pas infinie et elle se limite principalement aux aquifères peu profonds, qui peuvent aussi être sérieusement dégradées par la pollution. L'eau souterraine est la partie invisible du cycle hydrologique et une compréhension claire de son environnement physique dans l'espace et le temps (la qualité, la profondeur, la recharge, la productivité) est nécessaire afin de prendre des décisions pour une exploitation durable et efficace (Module 3: caractérisation des systèmes aquifères pour la gestion des eaux souterraines). Cependant, ces informations sur les eaux souterraines ne sont pas systématiquement obtenues dans la plupart des pays.

L'investissement dans l'évaluation, la gestion et la protection de la ressource de base a été gravement négligé. Des avancées concrètes sont nécessaires dans l'urgence; il n'existe pas de modèle de référence pour passer à l'action, en raison de la variabilité inhérente des systèmes aquifères et des situations socio-économiques qui leur sont liées. De nombreux pays en développement ont besoin d'évaluer leur dépendance socio-économique par rapport aux eaux souterraines, et d'investir en conséquence dans le renforcement des dispositifs institutionnels, ainsi que dans le renforcement des capacités institutionnelles pour une gestion améliorée; ceci avant qu'il ne soit trop tard.



Par exemple, à Harare (2014) le réseau de distribution d'eau repose sur l'eau de surface, et l'usine de traitement d'eau, en raison du vieillissement, du manque d'investissement et d'entretien, n'a pas la capacité de répondre aux besoins de la population croissante. L'approvisionnement en eau est irrégulier, insuffisant et n'a pas atteint certaines parties de la ville depuis plusieurs années. Le résultat a été une explosion de forages privés, la multiplication des vendeurs d'eau, et des pompages des nappes d'eaux souterraines (par des privés) incontrôlés, en particulier dans certaines parties de la ville où les gens peuvent se permettre des forages privés. Au cours de la dernière décennie, les niveaux de la nappe ont diminué de plus de 10 m et de nombreux forages se sont déjà asséchés. La surveillance du niveau de l'eau et de la conformité sont entravés par le manque d'investissements dans les organismes de bassin, et la situation continue de se détériorer. Beaucoup d'autres villes africaines sont confrontées à des problèmes similaires, par exemple, Lusaka, Accra, Nairobi.

La traditionnelle séparation institutionnelle entre eau de surface et eau souterraine a créé des barrières de communication fondamentales qui s'étendent maintenant des experts techniques à ceux chargés de l'élaboration des politiques, mais aussi des gestionnaires opérationnels, aux usagers de l'eau (Module 7: Le rôle de la participation des parties prenantes et de la communication dans la gestion des eaux souterraines). Ces obstacles entravent la compréhension des processus et des conséquences des interactions eau de surface, eau souterraine.

Finalement, l'utilisation durable des eaux souterraines exige une compréhension approfondie des multiples facteurs qui ont une incidence sur la ressource. Il s'agit de :

- L'impact de l'occupation du sol et la gestion foncière qui a une incidence directe sur la recharge et sur la pollution des nappes d'eaux souterraines.
- La protection de la ressource en eau souterraine qui passe par la protection des importants forages d'approvisionnement en eau et des zones de recharge vis à vis des activités polluantes telles que les sites de décharges des déchets, les usines de traitement des eaux usées, etc.
- Dans les régions où l'eau est rare, l'approche par la gestion de la recharge des aquifères (MAR), par exemple à partir des eaux de crue occasionnelle ou l'excès d'eau d'irrigation, peut être introduite afin de promouvoir la durabilité de la ressource en eau souterraine
- Dans tous les cas, là où c'est possible, l'utilisation conjointe de l'eau de surface et l'eau souterraine doit se faire afin d'assurer l'utilisation durable et optimale de la totalité de la ressource en eau.

2.5 Qu'est-ce que la GIRE?

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) est une approche qui favorise l'exploitation et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux.

La GIRE n'est pas seulement relative à la gestion des ressources physiques, il s'agit aussi de réformer des systèmes humains pour permettre aux populations, les femmes comme les hommes, de bénéficier de ces ressources, de les protéger et de les gérer.



La gestion intégrée des ressources en eau est un processus global pour l'exploitation durable, l'allocation et le suivi des ressources en eau et leur usage dans le contexte social et avec des objectifs économiques et environnementaux donnés. L'intégration des eaux souterraines dans le paradigme de la GIRE peut offrir des avantages importants tant pour les gestionnaires de l'eau, que pour les sociétés qu'ils dirigent.

2.6 Principes et cadre de la GIRE

Il existe trois principaux «piliers» qui fournissent un cadre pour la mise en œuvre de la GIRE (Figure 2.5). Ce sont: l'efficacité économique; viabilité environnementale; et l'équité sociale. Tous les plans GIRE doivent fonctionner avec ces trois objectifs fondamentaux à l'esprit.

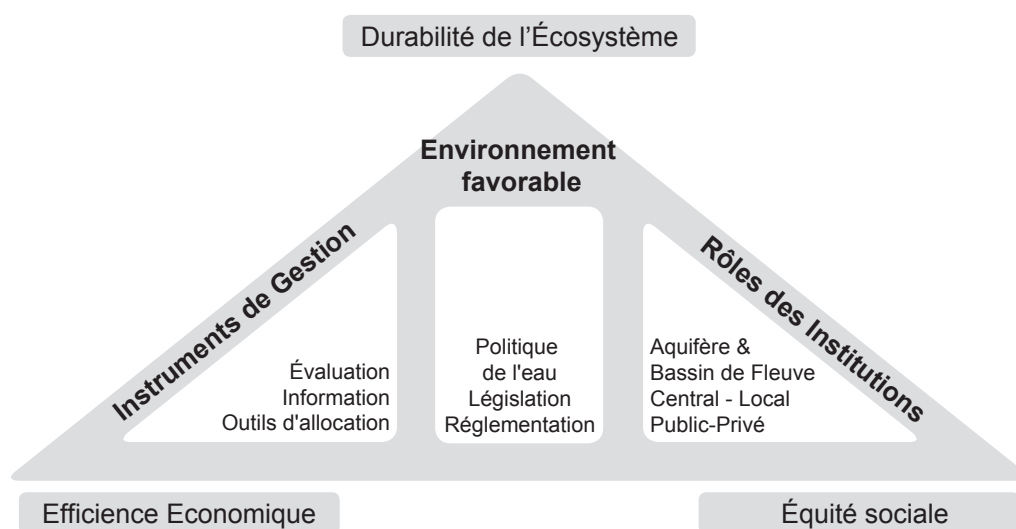


Figure 2.5 Le triangle de mise en œuvre de la GIRE

Pour améliorer la GIRE, il ya trois domaines clés pour la réforme de la GIRE :

- Créer un environnement propice - politique de l'eau; lois et réglementation de l'eau; instruments financiers et économiques (Module 6: la réglementation sur les eaux souterraines, les permis, allocation et institutions)
- Rôles institutionnels - les cadres organisationnels; développement des capacités institutionnelles
- Instruments de gestion - évaluation et suivi des ressources en eau (souterraine); informations sur la demande en eau; outils d'allocation, des modèles prévisionnels (Module 5: Surveillance des eaux souterraines et gestion de l'information).

Ces trois domaines d'action sont connus pour être essentiels pour la mise en œuvre de la GIRE et sont actuellement le moteur de la conduite des réformes au niveau des pays à tous les stades de la planification et de la gestion de l'eau en Afrique. Cela commence généralement avec une nouvelle politique de l'eau pour refléter les principes de gestion durable. Mettre cette politique en pratique nécessite la réforme du droit de l'eau et des institutions en charge de l'eau. Cela peut être un processus long et doit impliquer des consultations approfondies avec les organismes concernés et le public.

La mise en œuvre de la GIRE est un processus itératif, et doit se faire pas à pas ; en effet il ya des changements qui peuvent s'appliquer dans l'immédiat, d'autres vont nécessiter des années de planification et de renforcement de capacité.



Lorsque le processus commence, il est important de prendre en compte :

- Quels changements doivent être effectués pour atteindre les objectifs convenus?
- Où et quand est-ce possible de changer compte tenu de la situation sociale, politique, économique et institutionnelle actuelle?
- Quelle est la séquence logique des changements? Quels changements doit on introduire en premier lieu, afin de rendre possibles d'autres?

Lorsqu'on prend en compte comment l'eau doit être gérée dans le future, il y a de nombreux domaines de changement qui doivent intéresser les planificateurs; ils sont identifiés dans le Tableau 2.2.

Tableau 2.2: Boîte à Outils de la GIRE: Domaines de changements
(<http://www.gwp.org/en/ToolBox/>)

LES 13 DOMAINES CLES DE CHANGEMENT DE LA GIRE

L'ENVIRONNEMENT PROPICE

1. Politiques – mettre en place les objectifs pour l'usage de l'eau, sa protection et sa conservation.
2. Cadre législatif – les règles pour appliquer les lois et atteindre les objectifs.
3. Structures incitatives et de financement – allouer les ressources financières pour satisfaire les besoins en eau.

ROLES INSTITUTIONNELS

4. Création d'un cadre organisationnel – formes et fonctions.
5. Renforcement de la capacité institutionnelle – développement des ressources humaines.

INSTRUMENTS DE GESTION

6. Evaluation des ressources en eau – comprendre les ressources et les besoins.
7. Plans de la GIRE – combiner des options d'exploitation, usage des ressources et interaction humaine.
8. Gestion de la demande– utiliser l'eau de manière plus efficiente.
9. Instruments de changement social – encourager l'érection de société civile qui s'intéresse à l'eau.
10. Résolution de conflit – gérer les conflits, assurer le partage de la ressource.
11. Instruments réglementaires – allocation et limitation des usages.
12. Instruments économiques – utiliser la valeur et le prix pour l'efficience et l'équité.
13. Echange et gestion de l'information – améliorer la connaissance pour une meilleure gestion de l'eau.

Il existe beaucoup de cours et de manuels de formation (La GIRE pour les Organismes de Bassin; Plans GIRE, etc. sur le site de Cap-Net www.cap-net.org) qui développent plus largement les principes et la mise en œuvre de la GIRE. Ce manuel met surtout l'accent sur les questions spécifiques liées à la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassin.



2.7 Gestion des eaux souterraines dans les bassins versants

Bien que les principes de la GIRE enseignent que l'eau de surface et l'eau souterraine doivent être gérées comme une seule ressource, la voie pour y arriver n'est pas de facto évidente pour le personnel technique et professionnel des Organismes de Bassin, qui sont plus outillés pour gérer les eaux de surface. Il y a un certain nombre de caractéristiques spécifiques aux eaux souterraines que les gestionnaires des ressources en eau doivent prendre en considération pour atteindre un niveau optimal de gestion conjointe des eaux de surface et souterraines.

Tableau 2.3 Caractéristiques comparatives des eaux souterraine et de surface

Caractéristiques	Ressources en eau souterraine & Aquifères	Eau de surface water Ressources & Réservoirs
Caractéristiques hydrologiques		
Stockage	Très grand	Modéré à faible
Domaines des ressources	Relativement non limités	Limités au lit des cours d'eau
Recharge	Concerne les aquifères libres	A lieu partout avec la pluie
Réponse aux changements	Très lente	Rapide
Vitesse d'écoulement	lente	Elevée à modérée
Temps de résidence	Généralement en décennies/siècles	Principalement semaines/mois
Vulnérabilité à la sécheresse	Généralement faible	Généralement élevée
Pertes par évaporation	Faible et localisées	Elevées pour les réservoirs
Evaluation des ressources	Coût élevé et incertitude significative	Coût moins élevé et souvent moins d'incertitude
Impacts des prélèvements	Retardés et dispersés	Immédiats
Qualité naturelle	Généralement (mais pas toujours) élevée	Variable
Vulnérabilité à la pollution	Protection naturelle variable	Le plus souvent non protégée
Persistance de la pollution	Souvent extrême	Transitoire en général
Facteurs Socio-économiques		
Perception de la ressource par le public	Mythique, non prévisible	Esthétique, prévisible
Coûts d'exploitation	Modestes en général	Souvent élevés
Risques de l'exploitation	Moins que souvent perçus	Plus que souvent assumés
Profil de l'exploitation	Mixe public et privé, souvent par des individus	Généralement public

Le Tableau 2.3 compare les caractéristiques hydrologiques des eaux souterraines et de surface ainsi que les facteurs socio-économiques qui sont importants en termes de gestion et permettent de mieux comprendre comment les stratégies de gestion peuvent être ajustées lorsqu'on gère des ressources en eaux souterraines.

Même si aucune «boîte à outils» spécifique pour la gestion des eaux souterraines dans les bassins versants n'a été créée, les gestionnaires des ressources en eau trouveront qu'autant leur compréhension de la ressource en eau souterraine se



développe, autant leur appréciation de la façon dont les eaux souterraines peuvent être intégrées dans la gestion des ressources en eau du bassin versant augmentera aussi. L'objectif est de gérer conjointement les eaux surface et souterraines pour une gestion optimale et durable des ressources en eau.

Pour que l'accent soit mis sur la gestion conjointe, il faudra que l'autorité de bassin renforce les capacités en matière de gestion des eaux souterraines. La gestion des eaux souterraines entraîne souvent une incertitude importante, par exemple l'étendue de la ressource, le taux de recharge et de décharge, et les prélèvements. Ces complexités exigent un niveau adéquat de compétence professionnelle sur les eaux souterraines qui doit être conservé en interne par l'autorité de bassin.

Une question clé pour la gestion durable des eaux souterraines est d'équilibrer les exigences croissantes des usagers de l'eau avec les ressources disponibles en :

- a. maintenant l'équilibre entre les prélèvements des eaux souterraines et la recharge moyenne annuelle à long terme des nappes d'eau souterraines
- b. protégeant les nappes d'eaux souterraines contre toutes les formes de pollution, mais surtout de la pollution par les produits chimiques toxiques persistants.

Une illustration schématisée de la gestion durable de l'équilibre de la nappe d'eau souterraine est représentée sur la figure 2.6. Cette illustration de l'offre vs la demande prend en compte toutes les sources d'alimentation (de la recharge à la réserve), en considérant aussi toute une gamme de demande en eaux souterraines (besoins de subsistance, besoins économiques et environnementaux).

Bien que la figure 2.6 mette l'accent sur la gestion des eaux souterraines, l'interaction directe entre eaux de surface et eaux souterraines, est une raison essentielle pour gérer ces ressources conjointement. Certaines interactions directes sont données ci-dessous :

- La recharge des nappes est affectée par l'usage de l'eau de surface. En construisant des barrages sur les rivières et en procédant à des prélèvements sur celles-ci, on réduit le débit en aval qui recharge indirectement la nappe par infiltration à travers le lit du cours d'eau. C'est souvent la principale composante de la recharge des eaux souterraines dans les milieux arides et semi-arides. L'eau d'irrigation en excès ainsi que les eaux usées en rejet sont également des sources de recharge des nappes.
- De même l'utilisation des eaux souterraines, en particulier dans les aquifères libres et peu profonds, retarde le timing et réduit la quantité de ruissellement pendant la saison des pluies et diminue le débit de base pendant la saison sèche. Ce débit de base peut être d'une importance cruciale en particulier pendant les périodes de basses eaux et dans les climats semi-arides.
- Les eaux souterraines peuvent fournir de l'eau pérenne dans les écosystèmes dépendants des eaux souterraines et les communautés qui survivent de ces ressources.
- L'interaction entre eau de surface et eau souterraine peut entraîner une pollution qui peut être transmise de l'une à l'autre. La pollution des eaux souterraines peut persister pendant des siècles, ce qui réduit la disponibilité des ressources en eau pour les générations à venir.

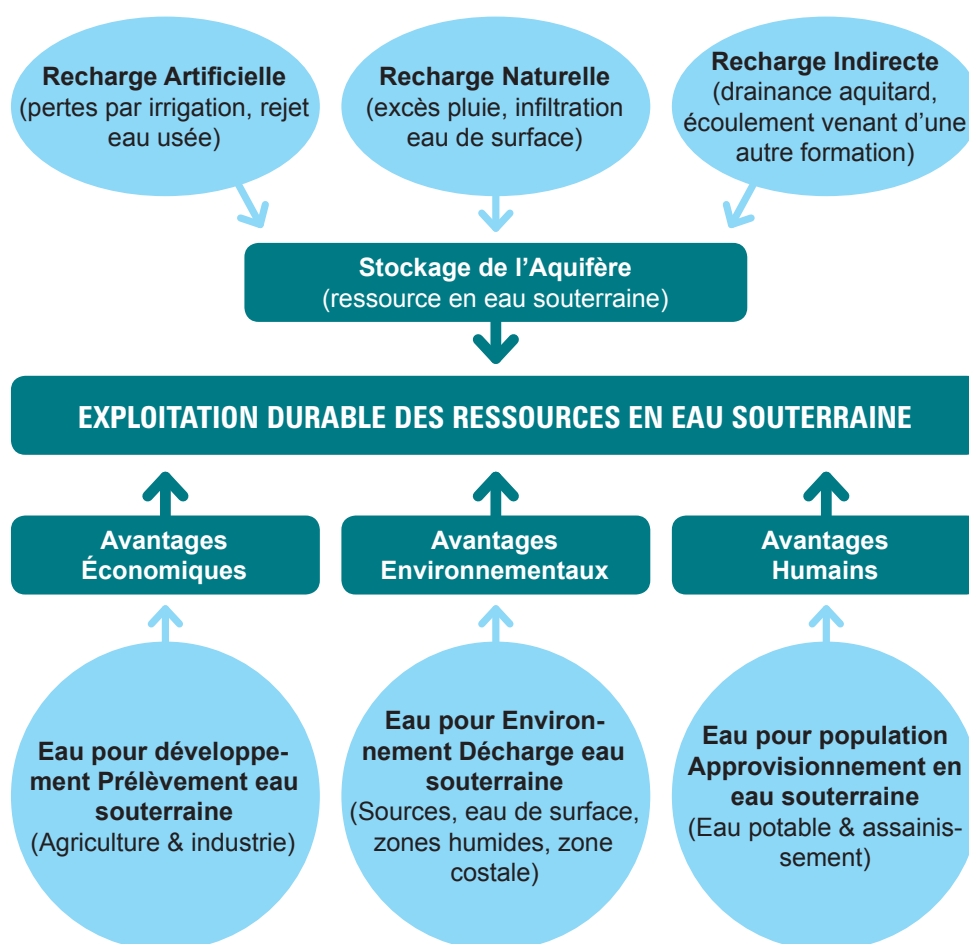


Figure 2.6 Les éléments de la gestion durable les eaux souterraines:
 L'offre (en haut) et demande (en bas)

Une fois que les gestionnaires de l'eau des OB adoptent la ressource en eau souterraine comme une composante de leurs ressources en eau disponibles et comme une partie de leurs responsabilités de gestion, ils commenceront bientôt à apprécier les opportunités et les avantages des stratégies de gestion conjointe. Les exemples d'avantages de la gestion conjointe peuvent inclure :

- Les eaux souterraines contiennent de grandes quantités d'eau stockée, tandis que le stockage de l'eau de surface est modéré ou faible et souvent éphémère. La stratégie de gestion conjointe suggère que l'eau de surface soit allouée au cours de la saison des pluies, avant qu'il ne s'écoule et s'évapore, et l'utilisation des eaux souterraines augmente pendant la saison sèche pour compenser le déficit d'eau de surface. Les volumes d'eaux souterraines en stockage peuvent ainsi constituer un tampon en période de sécheresse et de pénurie d'eau.
- L'approche de gestion de la recharge des aquifères (MAR) appliquée à des aquifères de sable peut être mise en oeuvre en utilisant l'eau de surface, excédentaire au cours de la saison des pluies, et s'il ya un excès de flux. Ainsi recharger les aquifères de cette façon non seulement fournit des ressources en eau supplémentaires en saison sèche mais permettra également la purification naturelle de l'eau de surface de toute contamination bactérienne.
- Les eaux souterraines peuvent être exploitées là où la demande est dispersée et modérée, tandis que l'exploitation de l'eau de surface peut se concentrer sur la demande à grande échelle et sur les besoins de l'irrigation.



- Les intérêts en amont et en aval: en considérant l'ensemble des ressources en eau, aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines, le long d'un bassin versant, les gestionnaires sont mieux en mesure de fournir les services équitables pour les demandes amont et aval.
- Le financement de l'exploitation des eaux souterraines est un domaine clé pour la flexibilité. Dans de nombreux cas, l'exploitation individuelle et privée de la ressource a lieu, notamment si l'autorité de bassin établit un environnement favorable positif tel que, par exemple, les subventions pour l'électricité ou la réalisation de forages.
- L'exploitation publique des eaux souterraines peut être progressive, avec la demande qui augmente, évitant ainsi les coûts élevés de financement et des paiements d'intérêt. Les fonds économisés peuvent fournir à l'autorité de bassin une souplesse financière nécessaire pour gérer ses dépenses d'infrastructures (pour l'eau de surface) et pour d'autres utilisations optimales.
- De nombreux secteurs dépendent de l'eau : l'agriculture, l'énergie, l'approvisionnement en eau et l'environnement. En intégrant l'ensemble des ressources en eau disponibles, les gestionnaires de l'eau sont mieux en mesure d'équilibrer les différents besoins concurrents dans le bassin versant.

La gestion des ressources en eau comprend de nombreuses opportunités et menaces. Le gestionnaire de l'eau sage regarde au-delà du direct et de l'évidence et considère les événements lointains et indirects afin d'améliorer et de protéger les ressources en eau des bassins versants. Certaines de ces questions sont énumérées ci-dessous :

La terre et l'eau. La gestion des terres joue un rôle fondamental dans un certain nombre de facteurs liées aux eaux souterraines telles que la recharge et la pollution diffuse, mais aussi ceux liés au débit de base, l'écoulement de surface et le ruissellement.

Le bassin versant et son environnement côtier et marin adjacent. La salinisation des ressources en eau souterraine côtières est devenue un enjeu majeur pour de nombreuses villes côtières. Le pompage excessif des aquifères côtiers en est la principale cause.

L'approvisionnement en eau en milieu rural. Les eaux souterraines peuvent souvent être utilisées comme une source en eau potable sans traitement, donnant ainsi aux gestionnaires de l'eau des options utiles pour les petites communautés dispersées.

La pollution des eaux souterraines. Une fois les eaux souterraines polluées, pour y remédier il faut un temps très long; ce qui fait que la protection par précaution contre la pollution est fortement recommandée. Cela peut inclure la surveillance des pratiques de gestion des déchets dans le bassin versant. (Module 8: Les risques liés à l'eau souterraine).

Les eaux souterraines sont souvent exploitées en privé. Contrairement à l'eau de surface qui est généralement exploitée et gérée par une autorité extérieure, l'eau souterraine peut être exploitée par des usagers pour leurs propres besoins. Cela nécessite un modèle de gestion différent pour assurer la durabilité et la protection des ressources en eaux souterraines. (Module 7: Le rôle de la participation des parties prenantes et de la communication dans la gestion des eaux souterraines).



L'eau, un droit humain d'accès gratuit, ou un service commercialisable, payant.

Les ressources en eaux souterraines peuvent être commercialisées comme l'est l'eau de surface, mais lorsqu'on s'engage dans de telles transactions, la connaissance sur l'impact de leur.

Ces exemples et d'autres stratégies d'utilisation conjointe fournissent à l'autorité de bassin, soit transfrontalier ou non, une grande souplesse pour la gestion de l'eau dans une variété de défis climatiques et socio-économiques.

Le Tableau 2.4 suggère que l'approche adoptée pour la gestion des eaux souterraines à tout moment dans le temps dépendra de l'information sur la ressource, et l'interaction entre les facteurs suivants :

- La profondeur, la taille et la complexité de la ressource en eau souterraine
- Le climat et le taux de recharge des aquifères et le renouvellement des ressources
- L'échelle de prélèvement des eaux souterraines ainsi que le nombre et les types d'utilisateurs
- Les écosystèmes et les services environnementaux qui dépendent des eaux souterraines (Module 10 : Eaux souterraines et Environnement)
- La sensibilité et la vulnérabilité du système aquifère à la dégradation de sa qualité (Module 8: Les risques liés à l'Eau Souterraine)
- Problèmes de qualité naturelle de l'eau souterraine
- La dégradation actuelle de la ressource en eau souterraine (l'épuisement ou la pollution)
- Autres ressources en eau disponibles



Tableau 2.4 Types d'aquifères spécifiques et leurs stratégies de gestion appropriées

Cadre hydrogéologique	Caractéristique principale	Recommandation	Exemples africains
Aquifères importants, mais avec une extension plus limitée que le bassin hydrographique	Unités aquifères spécifiques ou nappes d'eau souterraine doivent disposer de plans de gestion locale indépendants	Les plans doivent tenir compte du fait que la recharge des nappes peut dépendre de l'écoulement amont de la rivière et l'écoulement aval de la rivière peut dépendre de la décharge de l'aquifère	Aquifère Stampreit. Bassin versant du fleuve Orange-Senqu. Afrique du Sud, Namibie, Botswana.
Les bassins versants reposant largement sur des aquifères peu profonds	Gestion des interactions eau de surface - eau souterraine essentielle pour éviter des problèmes tels que la salinisation des sols avec le défrichement des terres, des sols imbibés d'eau, la salinisation provenant de l'agriculture irriguée	Une planification entièrement intégrée de l'eau de surface et de l'eau souterraine ainsi que la gestion des ressources en eau est essentielle	Les aquifères alluviaux du fleuve Limpopo Bassin de Limpopo. Botswana, Afrique du Sud, Zimbabwe Mozambique
Systèmes aquifères profonds extensifs, présents dans les régions arides	Le système d'écoulement des eaux souterraines domine, il ya peu d'eau de surface permanente	Il peut ne pas être utile d'établir un «organisme de bassin versant», mais il est plus préférable de définir un plan de gestion des ressources en eaux souterraines et de gérer au 'niveau de l'aquifère'	Aquifère des Grès Nubiens Libye, Egypte, Soudan. Bassin du Nil
Aquifères mineurs prédominants, caractérisés par une faible profondeur, une distribution inégale et un faible potentiel	Ces systèmes aquifères on les retrouve dans de nombreuses parties de l'Afrique sub-saharienne - ceux-ci auront une interaction limitée avec le bassin versant sus-jacent	Le stockage ne suffit pas à justifier la planification globale et l'administration des ressources en eau souterraine. L'importance sociale de l'approvisionnement en eau en milieu rural, nous oblige de faire des efforts dans la conception de puits d'eau afin de maximiser leur rendement et leur fiabilité, et d'identifier les problèmes géogéniques de qualité des eaux souterraines	Aquifères de socle cristallin par exemple en Tanzanie, au Ghana, en Zambie, etc.
Aquifères transfrontaliers	Peut être de différents types; local ou étendu. Nécessite un contrôle juridique et politique	Besoin d'évaluer le degré d'interaction transfrontalière et les stratégies requises	Aquifère de Kalahari: Bassins Zambèze / Limpopo. Zambie, Botswana Zimbabwe



2.8 Résumé

La gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassins versants est essentielle dans le cadre de la GIRE pour assurer la viabilité à long terme de l'ensemble des ressources en eau du bassin et d'optimiser l'utilisation de l'eau dans le bassin par la gestion conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines, et l'occupation des terres connexes. L'importance et les avantages potentiels d'une telle gestion deviennent plus clairs lorsque la pénurie d'eau et la dégradation de la qualité des eaux souterraines sont accrues. Les systèmes aquifères transfrontaliers sont un cas particulier qui nécessite un cadre politique et juridique ainsi que la coopération institutionnelle transfrontalière.

Les questions importantes que les gestionnaires de l'eau peuvent se poser sont :

- Qu'est ce que l'OB a déjà fait pour la gestion des eaux souterraines?
- Qu'est ce qu'ils considèrent comme étant les questions les plus importantes de gestion des eaux souterraines qu'il faut prendre en charge?
- Pourquoi (raisons politiques, techniques économiques, sociales) considérez-vous celles-ci comme étant les plus importantes pour les prochaines étapes?

2.9 Références

GWMate, 2004,

Briefing Note 0: Series Overview.

<http://water.worldbank.org/node/83769>.

GWMate, 2004,

Briefing Note 1: Groundwater Resources Management.

<http://water.worldbank.org/node/83769>.

GWP ToolBox C2.03,

http://www.gwptoolbox.org/index.php?option=com_tool&id=30

Cap-Net, 2005,

Integrated Water Resources Management Plans.

<http://cap-net.org/node/1515>

GWMate, 2004,

Briefing Note 15: Groundwater Dependent Ecosystems.

<http://water.worldbank.org/node/83769>.

Cap-Net, 2008,

Integrated Water Resources Management for River Basin Organizations.

<http://cap-net.org/node/1494>

GWP, 2004,

Catalysing Change Handbook.

<http://www.gwp.org/en/ToolBox/PUBLICATIONS/Catalyzing-Change-Handbook1/>



** Les réponses sont
en rouge et doivent
être enlevées avant de
fournir l'exercice aux
participants du cours.*

2.10 Exercice

Bassin transfrontalier de Limpopo

Les aquifères alluviaux et l'irrigation à grande échelle sur les rives de la rivière Limpopo.

Les enjeux : Le fleuve Limpopo est un fleuve international et la Commission du bassin du Limpopo (LIMCOM), un organisme de bassin transfrontalier, gère les écoulements.

Les débits du fleuve sont mesurés à un certain nombre de stations de jaugeage et barrages le long du cours principal de la rivière Limpopo et aussi le long de certains des principaux affluents.

Juste en amont des villes de Messina et de Beit Bridge (Figure 1 - Carte / image satellite de la région), il y a l'aménagement de superficie pour l'irrigation commerciale à grande échelle, avec principalement des spéculations comme les agrumes et le coton, sur les rives à la fois du côté de l'Afrique du Sud comme du Zimbabwe (figure 2).

Une superficie totale de 6500 ha est irriguée à partir de nappes alluviales. Supposons une demande d'irrigation de 1 litre / sec par hectare en continu pendant 300 jours par an. Les 65 jours sans irrigation sont entre décembre et février pendant la saison des pluies. Supposons que l'eau d'irrigation est pompée à partir des sables alluvionnaires dans le chenal de la rivière active, et que cette eau provient de l'écoulement de la rivière. Le tableau 1 fournit des données de bilan hydrique et la figure 3 est une représentation graphique qui montre les composantes du bilan de l'eau. La ligne bleue représente le débit d'écoulement du Limpopo avant l'avènement de l'irrigation. Supposons que la nappe alluviale doit être entièrement rechargée avant le début de tout écoulement de surface.

Quel est le retard (mois) dans le déclenchement de l'écoulement de surface au début de l'année hydrologique du fait de l'irrigation? **3 moins.**

Identifier les mois au cours desquels la recharge des aquifères a lieu. **Déc, Jan, Féb.**

En quel mois l'aquifère en premier devient totalement saturé? **Jan.**

En quel mois l'écoulement du cours d'eau doit recommencer? et en quel mois l'écoulement va s'arrêter? **Jan and Féb.**

Après la saison des pluies, combien de mois, à l'avance, l'écoulement de surface du Limpopo va tarir, en raison de l'irrigation? **6 moins.**

Quelle est la différence entre le débit de la rivière sans prélèvement des eaux souterraines et le débit de la rivière avec prélèvement des eaux souterraines? **63.4 m³/s.**

- Dessinez un nouveau hydrogramme des débits du fleuve Limpopo en tenant compte du pompage pour d'irrigation.
- Discuter des impacts potentiels de ces réductions de débit sur les communautés en aval ainsi que les pays en aval.
- Discuter des impacts possibles sur l'environnement et sur la qualité de l'eau.
- Proposer une stratégie de suivi pour identifier les impacts de l'irrigation sur le débit du fleuve, les eaux souterraines et les écosystèmes locaux.



- Proposer des méthodes pour l'intégration des prélèvements de l'irrigation dans la planification et la gestion des eaux de surface.

Méthodologie :

La solution à ce problème réside dans l'élaboration d'un bilan hydrique simple pour les entrées et les sorties à partir de la nappe alluviale liée à la rivière. Pour plus de simplicité, il est commode de commencer le bilan à un moment où il n'y a pas d'eau de surface qui s'écoule dans la rivière c'est à dire en septembre de chaque année, mais il faut aussi noter que nous reportons le déficit de la nappe alluviale pour l'année.

1. Tous les prélèvements de l'eau de la nappe de l'aquifère alluvial provoquent une d'une baisse du niveau de l'eau dans l'aquifère ... une partie de l'aquifère devient «désaturé».
2. Le degré de dé-saturation est cumulative si les prélèvements sont plus élevés que la recharge, de sorte que la couche aquifère se «vide» de plus en plus d'autant que les prélèvements pour l'irrigation continue. La quantité d'eaux souterraines dans le réservoir diminue de plus en plus.
3. Lorsque la saison des pluies commence, le ruissellement / débit de la rivière est généré. Lorsque le ruissellement / débit de la rivière est supérieur aux prélèvements des eaux souterraines, et alors il y a une valeur positive pour le bilan de l'eau *. Celle-ci va recharger l'aquifère (remplir les vides de la couche aquifère).
4. Le solde positif entre le ruissellement (positif) et les prélèvements (négatif) s'accumule comme eaux souterraines dans le réservoir aquifère jusqu'à ce que l'aquifère deviennent complètement saturé de nouveau (c-à-d. pas de déficit).
5. Une fois l'aquifère est complètement saturé, le solde positif entre les prélèvements et le ruissellement devient débit de la rivière.
6. Notez que le débit de la rivière n'est pas cumulatif - il n'est stocké nulle part; il s'écoule en aval et n'est plus disponible pour la recharge de l'aquifère.
7. Notez également que nous supposons qu'il n'y a pas de temps de latence entre les prélèvements de la nappe et l'impact sur le cours d'eau. Cela peut ne pas être tout à fait réaliste.
8. Une fois que les pluies s'arrêtent, le débit de la rivière baisse, puis cesse lorsque le ruissellement devient inférieure aux prélèvements de l'aquifère.
9. Alors que la saison sèche progresse, les prélèvements des eaux souterraines se poursuivent et l'aquifère redevient progressivement appauvri (le niveau continue de baisser).
10. Le cycle se poursuit quand les prochaines pluies commencent.

****Il convient de noter que les hydrogrammes de débit de la rivière du Limpopo sont déjà perturbés par le fait que l'irrigation et les prélèvements des eaux souterraines sont déjà en cours. Il sera nécessaire de remonter dans le temps et regarder les hydrogrammes du Limpopo avant la mise en place des irrigations pour être en mesure d'évaluer l'impact des prélèvements d'eau souterraine sur le débit du cours d'eau. Cela peut aussi se faire en comparant d'anciens hydrogrammes ante-irrigation avec ceux post-irrigation. Une autre stratégie simple est de calculer simplement le volume d'eau souterraine prélevée dans une année, et comparer cela à la quantité de débit de la rivière qui est «détourné» pour l'irrigation.***



Tableau 1: Le bilan du LIMPOPO :

L'impact des prélèvements de la nappe alluviale sur le débit du fleuve.

Mois	a) Pluie mm	b) Débit sans prélèvements nappe m³/s	c) Prélèvements nappe m³/s	d) Bilan mensuel m³/s	e) Déficit de l'aquifère alluvial m³/s nb: max <=0 e (précédent) + d	f) Débit Fleuve avec prélèvements de la nappe m³/s
Saison sèche précédente					Ont été reportés	= -28
Septembre	0	0	-6.5	-6.5	-28 - 6.5	= -34.5
Octobre	17	0.2	-6.5	-6.3	-34.5 - 6.3	= -40.8
Novembre	39	5.3	-6.5	-1.2	-40.8 - 1.2	= -42
Décembre	73	27.5	-3.2	+24.3	-42 + 24.3	= -17.7
Janvier	129	88.7	0	+88.7	-17.7 + 88.7 = 71.0	= 0
Février	108	42.1	-1.7	+40.4	0 + 40.4 = 40.4	= 0
Mars	19	5.4	-6.5	-1.1		= -1.1
Avril	0	1.9	-6.5	-4.6		= -5.7
Mai	0	1.4	-6.5	-5.1		= -10.8
Juin	0	1.1	-6.5	-5.4		= -16.2
Juillet	0	0.7	-6.5	-5.8		= -22
Août	0	0.5	-6.5	-6		= -28
Totaux Annuels	385	174.8	63.4	111.4	Le Total mensuel est le déficit à ce moment-là.	
						111.4

Calculer le bilan hydrique mensuel pour chaque mois.

Calculer le déficit mensuel de l'eau dans la nappe alluviale.

Calculer le débit mensuel de la rivière durant les prélèvements dans la nappe.

Calculer les totaux annuels pour toutes les colonnes.

(NB – c'est la feuille de réponse - pour les participants, nous allons laisser la dernière rangée et les trois dernières colonnes vides pour qu'ils les remplissent)



Figure 1: Zone de Beit Bridge / Musina avec le développement de l'irrigation alluviale le long du cours principal de la rivière Limpopo.



Figure 2: Détail montrant les zones irriguées avec le Centre Pivots (2000 ha) et le champ rectangulaire (4500 ha). Dans les champs rectangulaires on a principalement des agrumes, et dans les Pivots le coton. La Rivière Limpopo coule de l'Ouest à l'Est au milieu de l'image.

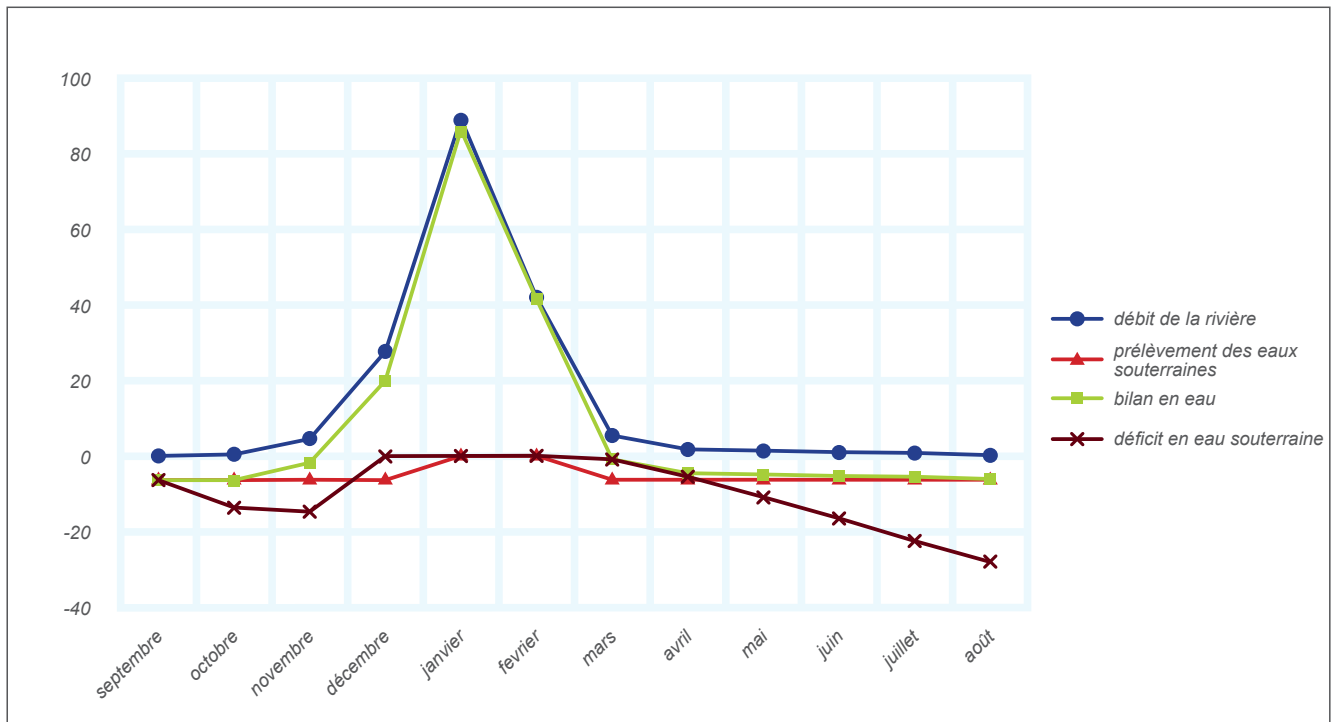


Figure 3: Les courbes du Limpopo montrant les composants du bilan hydrique. L'axe vertical est en m^3/s . La courbe de débit d'écoulement de la rivière est antérieure aux prélèvements de la nappe

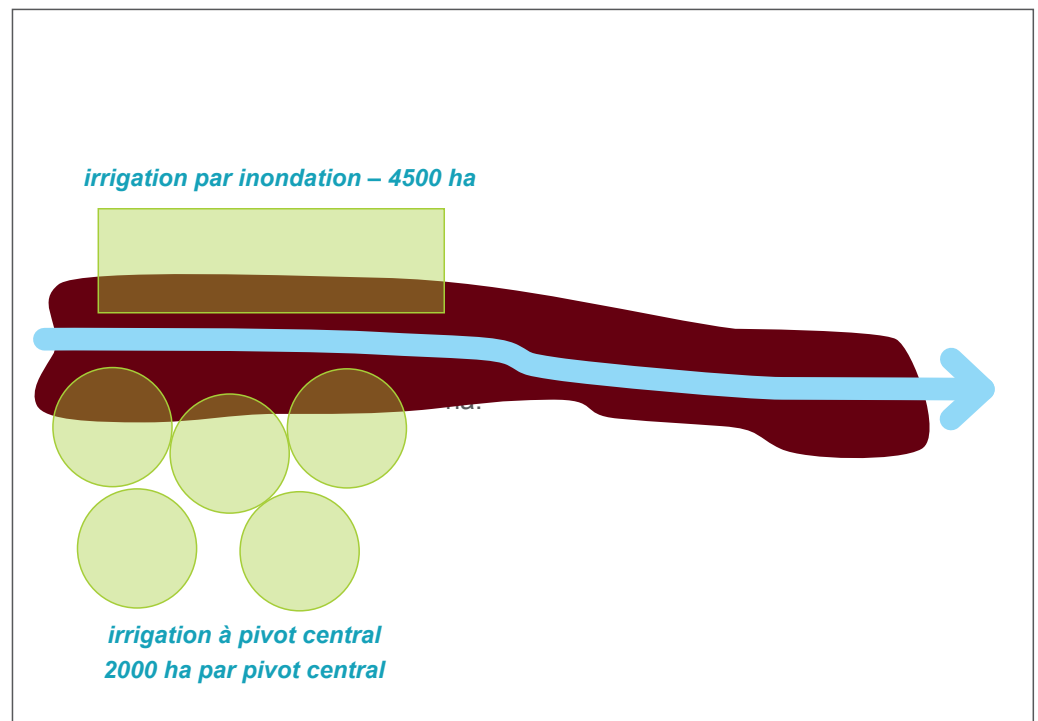


Figure 4: Illustration schématique de l'irrigation sur l'aquifère alluvial du Limpopo.

MODULE



CARACTÉRISATION DES SYSTÈMES AQUIFÈRES POUR LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES





CONTENU

MODULE 3

Caractérisation des Systèmes Aquifères pour la Gestion des Eaux Souterraines

3.1	Introduction	4
3.2	Formation de l'eau souterraine	4
3.3	Écoulement des eaux souterraines	9
3.4	Bilan et recharge des eaux souterraines	10
3.5	L'interaction eau souterraine et eau de surface	14
3.6	Résumé: Problèmes cruciaux de caractérisation des eaux souterraines	20
3.7	References	22
3.8	Exercice	23

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa
(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





CARACTÉRISATION DES SYSTÈMES AQUIFÈRES POUR LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Importance de la caractérisation des aquifères dans la gestion des ressources en eau souterraine
Principales propriétés des aquifères pour une meilleure gestion des eaux souterraines
Les différents environnements hydrogéologiques en matière de d'exploitation des eaux souterraines
Présence des eaux souterraines, et interactions entre eau souterraine et eau de surface

3.1 Introduction

L'eau souterraine diffère de l'eau de surface du fait de l'environnement (physique et chimique) dans lequel elle se trouve. On trouve de l'eau souterraine dans la plupart des formations géologiques, dans des sédiments et roches formant un réservoir souterrain ou aquifère dans lequel l'eau souterraine peut être stockée et transmise.

Les propriétés hydrogéologiques, la porosité et la perméabilité, des couches géologiques et leur distribution spatiale varient pour diverses raisons, comme la structure tectonique, la position dans le bassin de sédimentation, le type de bassin sédimentaire, la profondeur d'enfouissement et la lithologie. La disponibilité des eaux souterraines dépend du contexte hydrogéologique, qui peut être très variable, même au sein d'une seule formation lithologique.

Compte tenu du fait que l'eau souterraine est généralement une source importante d'eau de surface, en particulier pour le débit de base, les deux sources d'eau (de surface et souterraine) doivent être considérées d'une manière intégrée et globale dans le cadre de la planification des Organismes de Bassin.

La gestion des eaux souterraines dans les bassins versants de rivière et de lac doit être fondée sur une bonne compréhension des caractéristiques du système des aquifère, entre autres son interaction avec les plans d'eau de surface comme les rivières, les lacs et les zones humides.

3.2 Formation de l'eau souterraine

Diversité dans la mise en place des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont présentes dans les ouvertures de matériaux rocheux que sont les pores ou vides, ou les fractures qui constituent la porosité du matériau. Presque toutes les roches, quelque soit le type, l'origine ou de l'âge, possèdent un certain degré de porosité. Par conséquent, les eaux souterraines peuvent être trouvées dans tous les environnements géologiques. Si l'eau souterraine «utile» se trouve dans un matériau rocheux, cette roche est appelée un aquifère. Un aquifère est défini comme une formation géologique (ou parfois une partie d'une formation ou d'un



groupe de formations) qui contient du matériau saturé, de perméabilité suffisante pour produire des quantités d'eau «satisfaisantes» vers les forages et/ou sources. Des unités aquifères peuvent être combinées dans des systèmes aquifères.

Un cadre pour l'évaluation de la présence des eaux souterraines.

Porosité :

Une roche peut présenter une porosité «primaire» ou inter-granulaire. Ces sédiments non consolidés sont constitués de grains individuels qui ont été déposés à la surface de la terre par divers processus sédimentaires. La porosité dans les matériaux de porosité primaire est normalement élevée.

Par contre un matériau rocheux peut être imperméable avec une porosité nulle ou proche de zéro. Les roches cristallines qui sont cristallisées à partir d'un magma en fusion forment généralement ces matériaux. Dans ces roches ignées, la porosité est liée à des fractures à travers la masse de roche, plutôt que des pores de la roche intacte. Ce type de porosité est connu comme la porosité secondaire, ou porosité de fracture ; elle est habituellement beaucoup plus faible que la porosité primaire.

Les sédiments meubles deviennent des roches sédimentaires par des processus d'enfouissement, de compactage et de cimentation. Au cours de ces processus, la porosité des roches sédimentaires diminue, la masse rocheuse diminue de volume et devient fracturé. Ces roches sédimentaires fracturées présentent une double porosité.

Perméabilité :

Pour qu'une formation géologique puisse être considérée comme un aquifère, l'eau doit être en mesure de circuler à travers la roche à un débit satisfaisant de telle sorte que des quantités d'eau appréciables puissent être pompées à partir de forages d'eau. La perméabilité d'une roche est la vitesse à laquelle l'eau s'écoule à travers cette formation géologique.

Pour les roches granulaires de porosité primaire, l'eau s'écoule par infiltration ou écoulement de matrice entre les grains qui constituent la formation géologique. Ce type d'écoulement par infiltration est gouvernée par la taille des interstices entre les grains, ce qui à son tour est régie par la taille des grains. Les matériaux grossiers tels que le sable et le gravier ont une perméabilité élevée, tandis que les matériaux à grains fins tels que les argiles ont une très faible perméabilité.

Les roches cristallines qui n'ont pas de porosité primaire présentent un écoulement de fracture, avec de l'eau qui circule à travers les fractures. Ce type de perméabilité de fracture, ou écoulement de fracture, est généralement plus rapide que l'écoulement d'infiltration; mais parce qu'il se fait par un petit volume de la masse rocheuse, il peut être moins productif, dans certains cas, que l'écoulement d'infiltration.



Aquifères libre et captif.

Les aquifères peuvent être ouverts à l'atmosphère à travers une couverture de sol perméable; dans ce cas, ils sont dits libres. Un aquifère libre peut recevoir une recharge directe à partir de la percolation et de l'infiltration de la pluie à travers la zone non saturée (ou vadose) vers la nappe phréatique. Ces aquifères sont également connus comme aquifères à nappe phréatique. L'eau, qui est en eux, est à la pression atmosphérique et quand ces nappes sont pompées, leur niveau baisse. Les roches cristallines ont tendance à s'altérer à la surface et près de la surface pour devenir des aquifères libres, cependant elles sont imperméables en profondeur où elles ne sont pas altérées et les fractures sont fermées en raison de la pression de surcharge.

Par contre les aquifères peuvent être enfouis sous des matériaux imperméables. Cela se produit généralement dans les bassins sédimentaires où les couches sédimentaires perméables et poreuses peuvent se retrouver sous des couches imperméables et deviennent isolées de la surface de la terre. Ces aquifères sont connus comme des aquifères captifs. Les aquifères captifs ne reçoivent pas de recharge directe de la pluie parce qu'ils sont séparés de la surface par une couche imperméable. Ils peuvent être rechargés à partir d'un point éloigné où les couches aquifères affleurent à la surface, et à cet endroit l'aquifère devient localement libre. Ils peuvent être entièrement captifs sous des couches imperméables et ne reçoivent pas de recharge du tout. Puisque les aquifères captifs ne sont pas ouverts à l'atmosphère, l'eau qui est en eux, est généralement sous pression résultant du niveau de l'eau dans la zone de recharge. Cette pression est appelée pression piézométrique. Si un forage est foré dans une nappe captive, l'eau monte généralement dans le forage à un niveau au-dessus du toit de l'aquifère en raison de la pression piézométrique. Lorsque l'eau est pompée à partir d'un aquifère captif, la pression piézométrique est réduite, mais la couche aquifère reste totalement saturée.

La productivité de l'aquifère.

La «productivité» d'un aquifère dépend d'une combinaison de la porosité et de la perméabilité des matériaux aquifères, ainsi que la «taille» de l'aquifère. Les éléments les plus significatifs de la diversité hydrogéologique naturelle sont :

- Une variation importante de la capacité de stockage des aquifères (porosité / emmagasinement), entre les sédiments granulaires non consolidés et les roches fracturées très consolidées;
- Une variation importante de la capacité de transmettre l'écoulement des eaux souterraines (perméabilité) entre les calcaires karstiques (caverneux) et l'argile dense, ou les roches cristallines intactes solides;
- Une grande variation aussi bien de l'extension de l'aquifère, que de son épaisseur saturée, qui dépendent des environnements géologiques; ceux-ci peuvent être très divers : par exemple, on peut avoir des roches cristallines altérées à régolite, des sédiments alluviaux peu profonds, ou des profonds bassins tectoniques; il en résulte un large éventail de capacité de stockage, mais aussi de potentiel d'écoulement des aquifères (transmissivité).



Les aquifères sédimentaires non consolidés sont composés principalement de matériaux meubles : sables, graviers, limons, sable argileux, argiles sableuses et argiles. Ils constituent un milieu poreux et continu. Les eaux souterraines sont stockées et transmises par les pores.

Les bassins sédimentaires contiennent généralement de grandes ressources en eau souterraine; deux types d'environnements hydrogéologiques sont le plus souvent d'excellents aquifères :

- Les bassins alluviaux côtiers qui sont de grands aquifères prolifiques;
 - Les roches sédimentaires consolidées comme le grès et le calcaire.
- Ils sont spatialement étendus, disposent de grandes épaisseurs, et contiennent de grands volumes de stockage d'eau souterraine avec un écoulement régional. Ils constituent les principaux aquifères transfrontaliers.

Les roches compactes et fracturées ou formations consolidées ont des vides qui sont principalement composés de fractures; elles constituent le plus souvent un milieu discontinu. En général, on peut identifier deux grands types de formations :

- Les roches carbonatées, comme le calcaire, qui sont légèrement solubles dans l'eau de pluie et donc les fractures peuvent être agrandies pour former des karsts (canaux) ;
- Les roches anciennes cristallines et métamorphiques peuvent être fortement fracturées; elles peuvent aussi subir une altération dans la partie supérieure pour former un manteau poreux et perméable composé de matériaux altérés (régolite) de quelques dizaines de mètres d'épaisseur.

La caractérisation de la présence des eaux souterraines peut se faire à différentes échelles d'investigation, elle est généralement liée au type de formation géologique.

- Les bassins hydrogéologiques qui coïncident avec les limites topographiques des bassins versants; ils sont généralement dans des terrains rocheux cristallins et peuvent être constitués de plusieurs sous-bassins.
- Les bassins hydrogéologiques qui sont plus petits et qui tiennent entièrement dans un bassin hydrologique; ce sont généralement des bassins sédimentaires locaux, ou des systèmes alluviaux liés à l'hydrologie actuelle.
- Les aquifère ou unités hydrogéologiques qui s'étendent au-delà des frontières du bassin hydrologique; généralement ce sont des grands bassins sédimentaires qui datent d'avant l'actuel et se sont constitués avant le climat actuel..

Cette diversité hydrogéologique peut être résumée par les éléments clés qui identifient la plupart des types d'aquifères (figure 3.1). La capacité de stockage de l'aquifère et l'importance (longueur et le temps de séjour) des trajectoires de l'eau sont les deux éléments utilisés ici pour la caractérisation des eaux souterraines à des fins de gestion.

**Quel type (s)
d'aquifère est
présent dans votre
bassin et à quelle
profondeur sous la
surface du sol?**

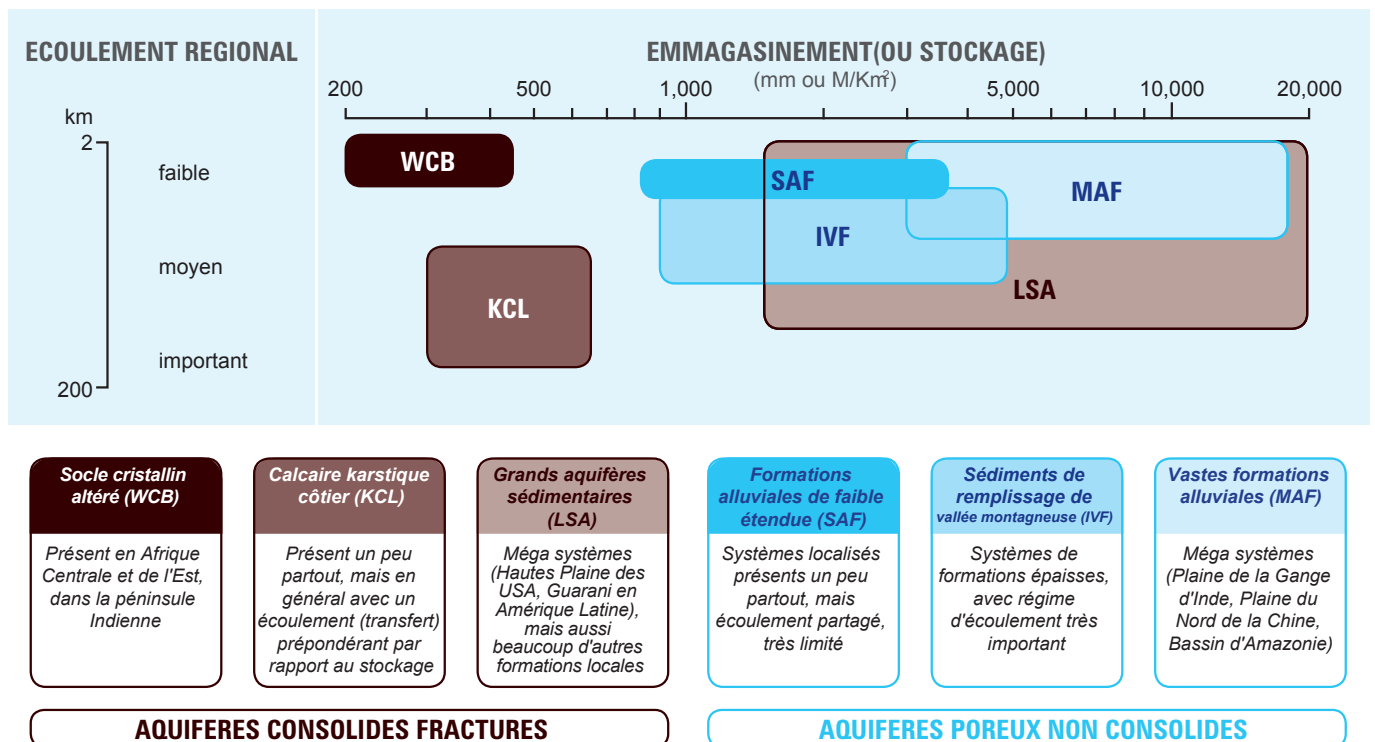


Figure 3.1: Résumé des principales propriétés des aquifères les plus fréquents. (GW- Mate Briefing note 2)

En termes généraux, les “aquifères mineurs (de faible extension)” ont des capacités de production plus faibles et moins prévisibles que celles des “aquifères majeurs (large extension)”; ils possèdent beaucoup moins de stockage et peuvent être assez irrégulier en extension spatiale. Dans les régions où sont présents les “aquifères mineurs”, l’implantation de forages fournissant un débit fiable, de qualité acceptable et en quantité suffisante, peut être un défi hydrogéologique important; mais les “aquifères mineurs” sont souvent la seule source disponible sur de très grandes superficies.

Quelles sont les fonctions clés des aquifères?

Un aquifère, assimilé à une unité hydrogéologique, est constitué de deux phases principales qui interagissent : un réservoir comprenant une ou plusieurs formations géologiques et l’eau souterraine stockée dans le réservoir.

Le réservoir a deux fonctions importantes :

- une **capacité de stockage** des eaux souterraines exprimée par le coefficient d’emmagasinement ou la porosité efficace;
- une capacité de **transfert de l’écoulement de l’eau** souterraine par gravité ou sous pression, qui peut être exprimée par la transmissivité ;

Une de ces fonctions peut prédominer sur l’autre, dépendant des types de roches et des environnements hydrogéologiques. Par exemple, un aquifère le long d’une rivière a principalement une capacité de transfert, alors qu’une nappe aquifère profonde et captive présente essentiellement une capacité de stockage, mais avec un écoulement plutôt limité; un aquifère libre peut avoir les deux fonctions.



Le grand volume d'eau en stockage dans les systèmes aquifères (dont l'amplitude varie de façon significative avec le contexte géologique) est habituellement leur atout le plus précieux. Ce capital de stockage comprend non seulement les eaux souterraines déjà stockées dans les systèmes aquifères, mais aussi la capacité de stockage potentiel de leurs espaces vides qui peuvent recevoir la recharge.

3.3 Écoulement des eaux souterraines

Comment se fait l'écoulement des eaux souterraines?

L'eau souterraine s'écoule suivant un gradient, des zones de charge hydraulique élevée vers les zones de charge inférieure. La vitesse d'écoulement est régie par le gradient et par les propriétés de l'aquifère. La plupart des eaux souterraines sont en mouvement lent et continu (figure 3.2) des zones de recharge naturelle de l'aquifère provenant de la pluie, vers, d'une part les zones de décharge de l'aquifère, comme les sources, et d'autre part les émergences vers les rivières / lacs, les zones humides et zones côtières. L'écoulement des eaux souterraines est régi par la loi de Darcy (Encadré 3.1).

L'écoulement naturel des eaux souterraines se produit, généralement à faible vitesse, à travers les pores et fractures de matériaux rocheux. Pour les eaux souterraines une vitesse de 1 mètre par jour d'écoulement est élevée, et il peut être aussi faible que 1 mètre par an ou 1 mètre par décennie. En revanche, les vitesses des fleuves sont généralement mesurées en mètre par seconde.

Pouvez-vous identifier les zones de réalimentation et de décharge, et le régime d'écoulement d'un aquifère dans votre bassin?

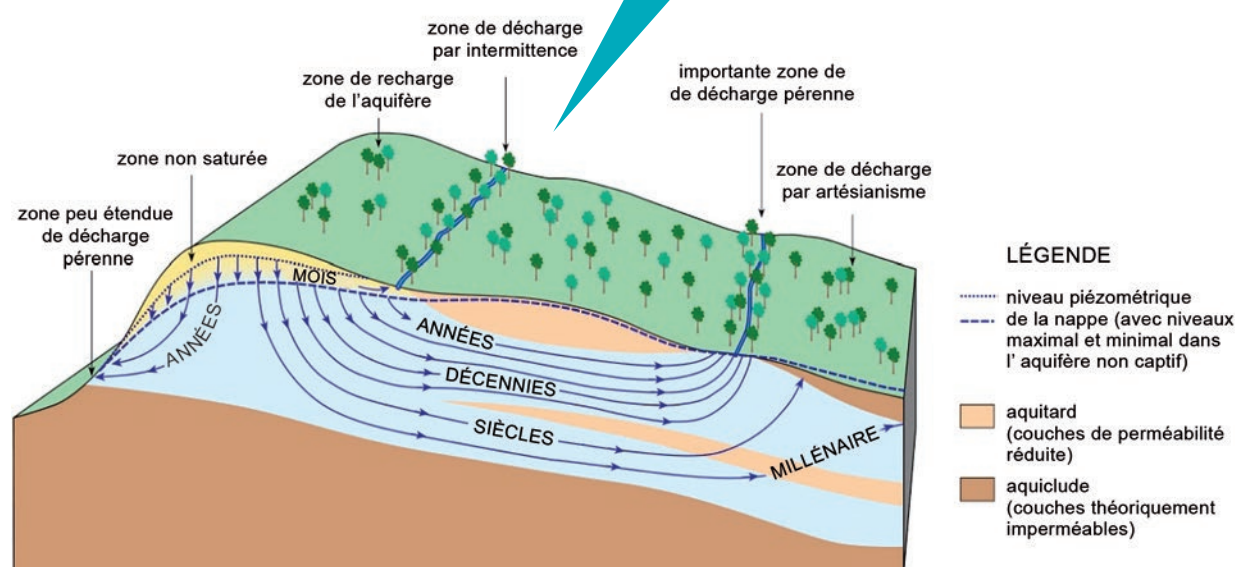


Figure 3.2: Régime d'écoulement type et temps de séjour des eaux souterraines dans les régions semi-arides (Foster and Hirata, 1988)



ENCADRÉ 3.1: LA LOI DE DARCY ET PERMÉABILITÉ

La loi de Darcy régit la façon dont les fluides se déplacent à travers les sédiments et les roches - le débit étant proportionnel à la longueur de la trajectoire d'écoulement, à la différence de pression entre deux points de la trajectoire d'écoulement, et à la perméabilité du médium aquifère.

La loi de Darcy est généralement exprimée comme suit : $Q = -KA \frac{dh}{dl}$ où:

Q = Débit d'écoulement des eaux souterraines,

K = perméabilité (ou conductivité hydraulique)

A = section transversale d'écoulement

dh/dl = gradient de pression hydraulique.

Dans le sous-sol, les sédiments sont habituellement déposés en couches horizontales. Des couches de schiste et autres intercalations d'argile ont une perméabilité beaucoup plus faible (en particulier dans la direction verticale) que le principal groupe de matériaux aquifères; ainsi l'écoulement de l'eau souterraine tend à être préférentiellement confiné dans des couches aquifères qui sont généralement horizontales, avec seulement une petite drainance verticale à travers les épontes constituées de lits d'argile ou de schiste.

3.4 Bilan et recharge des eaux souterraines

Quelle est la problématique de l'estimation du taux de recharge actuelle?

L'estimation des taux de recharge contemporaine des aquifères est d'une importance fondamentale si l'on considère la durabilité de l'exploitation des ressources en eau souterraine. En outre, la compréhension des mécanismes de recharge des aquifères et de leurs liens avec l'occupation des sols est essentielle pour la gestion intégrée des ressources en eau.

Malheureusement la recharge des nappes est à la fois très complexe et incertaine. Il existe de nombreuses méthodes, notamment : les mesures de niveau des eaux souterraines, la mesure du flux de la zone non saturée, les techniques isotopiques pour mesurer l'âge des eaux souterraines, la mesure de l'écoulement souterrain, la modélisation et bien d'autres.

Quelle est la hauteur de pluie dans la zone de recharge de votre aquifère ? Est-ce que la nappe est réalimentée par les précipitations annuelles?

Toutes ces méthodes souffrent d'une considérable incertitude scientifique (Figure 3.3) dans la quantification des composantes individuelles de recharge en raison de :

- La grande hétérogénéité, l'irrégularité et la complexité inhérente aux systèmes hydrogéologiques naturels;
- La grande variabilité spatiale et temporelle des événements hydrologiques tels que les précipitations et le ruissellement, de même les cycles climatiques;
- La variété et la complexité des différents processus de recharge allant de l'infiltration directe et la percolation des précipitations, l'infiltration à travers les lits de cours d'eau et de lacs, aux rejets anthropiques;
- Les incertitudes inhérentes à la plupart des procédures méthodologiques utilisées pour l'estimation de la recharge.



Ces facteurs, combinés avec les données limitées de suivi du niveau des nappes dans de nombreuses régions, font que les estimations de recharge disponibles, doivent toujours être traitées avec une certaine prudence.

Néanmoins, pour des raisons plus pratiques, il suffit de faire des estimations approximatives, et les affiner ensuite à travers le suivi et l'analyse de la réponse de l'aquifère aux prélèvements sur le moyen terme. Un certain nombre d'observations générales peuvent être faites sur les processus de recharge des aquifères :

- Les zones, d'aridité croissante, auront une fréquence et un taux de recharge beaucoup plus faibles;
- Les systèmes aquifères captifs et semi-captifs ont généralement des zones de recharge spécifiques là où l'aquifère affleure, alors que les aquifères libres sont souvent rechargés sur toute l'étendue de leur zone d'extension;
- La recharge indirecte par le ruissellement de surface et la recharge artificielle accessoire, découlant de l'activité humaine, deviennent généralement de plus en plus importantes par rapport à la recharge provenant de précipitations directes.

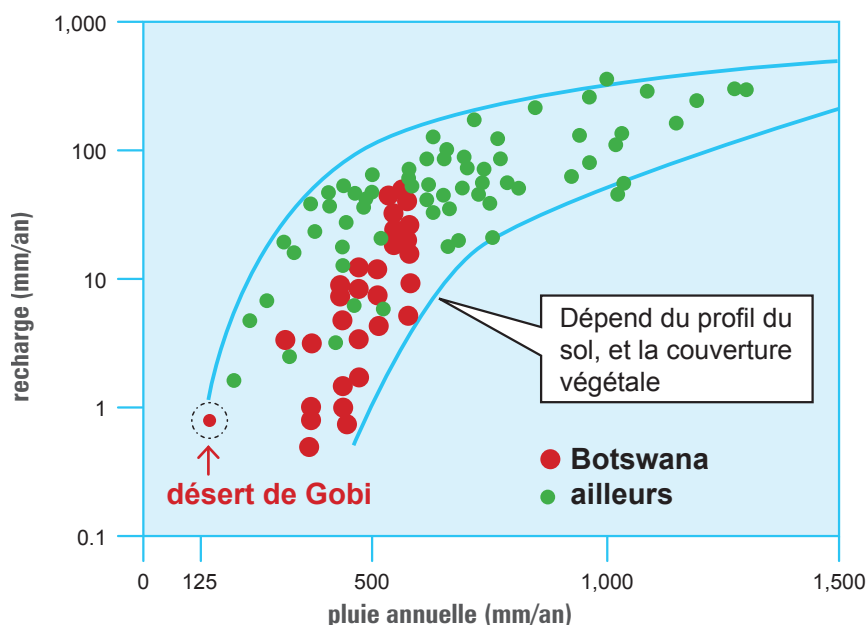


Figure 3.3: Estimations sur le terrain de la recharge diffuse en Afrique Australe et leur relation avec les précipitations annuelles

Lorsque vous essayez d'évaluer les taux de recharge des eaux souterraines contemporaines, il est essentiel d'apprécier pleinement l'importance des liens intimes entre l'occupation des sols et la recharge des nappes souterraines; cet aspect est aussi un élément essentiel dans la pratique de la gestion intégrée des ressources en eau. Le paradigme couramment utilisé de "taux moyens constants de recharge actuelle de l'aquifère" est faux. En réalité, le taux de recharge contemporaine de l'aquifère varie considérablement avec :

- Les changements dans l'occupation des sols et le couvert végétal, notamment l'introduction de l'agriculture irriguée, mais aussi la déforestation et le compactage du sol;



- Les processus d'urbanisation, et en particulier les pertes d'eau du réseau d'alimentation en eau, la proportion d'ouvrages d'assainissement individuel et le degré d'imperméabilisation du sol en raison de l'asphalte, du béton, etc..;
- L'abaissement généralisé de la nappe phréatique par des prélèvements et / ou le drainage des sols, ce qui conduit à l'extension des zones et / ou des taux d'infiltration dans certains systèmes aquifères;
- Les changements dans le régime des eaux de surface, notamment la déviation / détournement de l'écoulement de la rivière.

Pourquoi est-il nécessaire de faire un bilan de la nappe d'eau souterraine?

Pour mieux gérer les ressources, il est important de savoir la quantité d'eau souterraine qui est disponible dans l'aquifère, et qui peut être prélevée de façon durable. Il doit y avoir un équilibre entre le volume de recharge et celui extrait ou sortant de l'aquifère.

Dans la plupart des contextes climatiques naturels, l'eau rentre régulièrement dans le système aquifère par les processus de "recharge naturelle" décrits ci-dessus, et sort en permanence du système comme "décharge naturelle" vers les sources, vers d'autres aquifères, ou reprise par la végétation phréatophyte. Chaque système aquifère est unique dans la mesure où le volume d'écoulement souterrain dépendra de facteurs "externes" comme les quantités de précipitations dans la zone de recharge, la localisation et le comportement des cours d'eau, mais aussi les taux d'évapotranspiration. Mais en mettant de côté pour le moment le changement climatique et les questions liées au changement dans l'occupation des sols, un "système aquifère sain" devrait être en équilibre (ou en état de quasi-équilibre) sur une échelle de temps de 5-25 ans, avec des périodes plus longues dans les climats les plus arides.

Le fait de comptabiliser tous les différents flux entrants et sortants d'un système aquifère, y compris les changements dans la réserve, est appelé entreprendre un bilan de la nappe. L'évaluation du bilan des eaux souterraines est un outil essentiel pour la gestion des ressources en eau souterraine, et pourrait comprendre les éléments suivants :

- L'estimation de la recharge de l'aquifère, qui est une série complexe et incertaine de processus décrits ci-dessus ;
- L'évaluation de la décharge naturelle du système aquifère par le débit de base, débit de la source, et l'évapotranspiration; ce qui est tout aussi complexe, et ;
- Mesurer ou estimer la quantité d'eau souterraine prélevée à partir de forages, et consommée ou exportée du bassin versant local.

Il existe de nombreux outils d'analyse (avec les SIG) qui peuvent grandement aider à ce processus. Les bilans d'eau souterraine devraient être établis pour un système aquifère bien défini ou une nappe d'eau souterraine, dans un bassin versant ou dans certains cas, un sous-bassin appartenant à ce bassin versant. Comprendre le bilan des nappes d'eau souterraine et comment il change en réponse aux activités humaines, est un aspect central et critique de la caractérisation des eaux souterraines.

Tout écoulement souterrain doit «sortir» quelque part, et tôt ou tard les prélèvements continus vont réduire ces débits sortants. Cependant les sources de l'eau souterraine pompée peuvent être complexes, et pourraient prendre en compte une augmentation



de la recharge induite à la suite de la descente du niveau de la nappe phréatique. La question de la baisse continue, à long terme des nappes se pose et le terme “**surexploitation des aquifères**” a été introduit à cet égard.

En pratique, lorsque l'on parle de surexploitation des nappes, nous sommes toujours beaucoup plus préoccupés par les conséquences des prélèvements intensifs des eaux souterraines que par son niveau absolu. Ainsi, la définition la plus appropriée est probablement que le “coût global des impacts négatifs de l'exploitation des eaux souterraines dépasse les bénéfices nets de l'utilisation des eaux souterraines”; mais bien sûr, ces effets ne sont pas toujours faciles à prévoir et / ou à estimer.

Par conséquent, il est crucial pour les gestionnaires des ressources en eau d'estimer le “prélèvement acceptable” (ou “débit de sécurité”) d'un système d'eaux souterraines. En réalité, ces expressions peuvent également être trompeurs, car pour les estimer, il est nécessaire de faire des jugements de valeur sur le terme “acceptable”, qui peut ne pas être acceptable pour certaines parties prenantes, en particulier les écosystèmes naturels qui dépendent de la décharge de l'aquifère.

L'eau souterraine dans les aquifères captifs est généralement plus âgée, moins oxygénée, plus minéralisée, et normalement sous pression. Le rabattement induit par le pompage de la partie captive d'un aquifère se propage souvent rapidement à la partie libre. Dans divers contextes hydrogéologiques, les aquifères libres et peu profonds, et les aquifères profonds et captifs peuvent être superposés, avec une drainance vers le bas ou vers haut, dépendant des conditions locales.

Le stockage souterrain transforme les régimes de recharge naturelle très variables en régimes de décharge naturelle plus stables. Il en résulte aussi des temps de séjour des eaux souterraines qui sont habituellement mesurées en décennies ou siècles (figure 3.2), et souvent même en millénaires, avec de grands volumes de ce qu'on appelle “eaux fossiles”, une relique des épisodes passées avec un climat différent; celles-ci peuvent toujours être stockées (Encadré 3.2).

ENCADRÉ 3.2: «LES EAUX SOUTERRAINES FOSSILES ET RESSOURCES NON RENOUVELABLES»

Les techniques isotopiques révèlent que la plupart des eaux souterraines stockées (et parfois toujours en écoulement) dans les grandes formations sédimentaires ont été rechargées par des précipitations au Pléistocène supérieur et à l'Holocène inférieur (> 5000 ans BP), alors que le climat dans les régions concernées était plus frais et plus humide. Elles sont donc communément appelées «**eau fossile**».

Si les évidences hydrochimiques suggèrent que très peu de précipitations contemporaines s'infiltrant (par exemple <10 mm / an), la recharge actuelle des nappes sera seulement responsable (au plus), d'une infime partie des eaux souterraines stockées dans ces aquifères. Cette eau souterraine stockée, est donc sensiblement traitée comme une «**ressource non renouvelable**», car elle ne sera pas entièrement renouvelée durant l'exploitation actuelle.



3.5 L'interaction eau souterraine et eau de surface

Presque toutes les eaux de surface (rivières, lacs, réservoirs et zones humides) interagissent avec les eaux souterraines. Ces interactions peuvent prendre plusieurs formes, dans certains cas, les eaux de surface acquièrent de l'eau ou / et des solutés provenant de systèmes d'eau souterraine et dans d'autres, elles peuvent être une source de recharge des nappes et peuvent affecter la qualité des eaux souterraines.

En ce qui concerne les ressources en eau et l'environnement, il est important de considérer les eaux souterraines et les eaux de surface comme une ressource unique. Par conséquent la compréhension de leur interaction est essentielle pour la gestion des ressources en eau dans les bassins versants fluviaux et lacustres, même si il est difficile d'observer ou de mesurer ces échanges.

La contribution des nappes à l'écoulement total des eaux de surface varie considérablement parmi les écoulements de surface, mais les hydrologues estiment que la contribution moyenne se situe entre 40 et 50% dans les petits et moyens écoulements (USGS, 1999). De même, l'apport de l'eau de surface via l'infiltration, à travers les lits de cours d'eau et de lac, vers les nappes est tout aussi important, en particulier dans les climats arides et semi-arides. Certaines interactions des eaux de surface et eaux souterraines sont décrites ci-dessous.

L'interaction des eaux de surface et des eaux souterraines est souvent une préoccupation majeure pour les organismes de bassin, car ils mettent l'accent sur la gestion des eaux de surface; de telles interactions impactent directement sur les ressources en eau de surface qu'ils ont quantifiées et allouées.

Nappe alluviale dans les vallées fluviales.

L'eau souterraine dans l'environnement de vallée fluviale tend à se former dans les dépôts alluviaux associés au chenal fluvial (Figure 3.4), et cette eau souterraine est généralement peu profonde et facilement accessible à proximité de la rivière. Ces aquifères ont généralement une extension latérale limitée et une profondeur faible.

Dans de nombreuses régions d'Afrique (Nord Cameroun, bassin du lac Tchad, Botswana) d'épais sédiments déposés dans le chenal de rivières contiennent des quantités importantes d'eau souterraine. Une perméabilité favorable et des caractéristiques particulières de la porosité des sables alluvionnaires du lit, combinées à la recharge régulière provenant de l'écoulement de surface, font que ces aquifères sont très productifs.

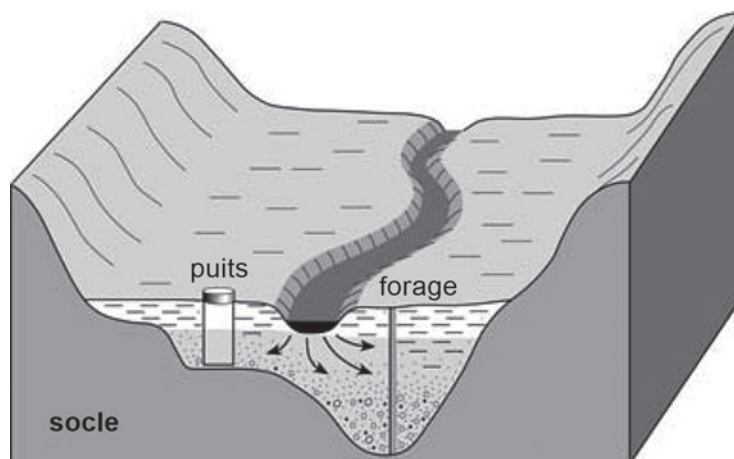


Figure 3.4: L'eau souterraine dans les dépôts alluviaux de rivière (d'après MacDonald, 2005)

Lorsque la saison des pluies est terminée, ces «rivières de sable» ou «oueds» sont généralement à sec, mais les sédiments grossiers sous-jacents du chenal de rivière et des plaines inondables, sont en fait d'importantes sources d'eau domestique et d'irrigation pour les communautés locales (figure 3.5). Dans les grands bassins alluviaux, comme dans la vallée du Nil, les eaux souterraines sont stockées dans des séquences sédimentaires plus vastes et plus épaisses qui forment des aquifères régionaux importants. Ils sont constitués de matériaux non consolidés avec des couches de sable alternant avec du sable argileux ou de l'argile sableuse.

En raison de la proximité immédiate entre les aquifères alluviaux et les chenaux fluviaux, il y a une interaction continue et rapide entre les nappes alluviales et l'écoulement de la rivière. Les prélèvements des eaux souterraines de ces systèmes alluviaux aura une incidence sur le débit du fleuve, ce qui a été évoqué comme une préoccupation croissante par de nombreuses autorités de bassin (Villholth, 2011).



Figure 3.5: Un chenal de rivière avec des dépôts grossiers (Nord Cameroun, photo par Diène, 2013)

**Avez-vous des
rivières de sable
dans votre bassin?
Comment l'eau
souterraine est
exploitée à partir
de ces aquifères?**



Comment la nappe souterraine peut interagir avec des rivières et ruisseaux?

Les interactions entre les rivières et les eaux souterraines ont lieu de trois façons :

- Les rivières acquièrent de l'eau provenant du flux entrant des eaux souterraines à travers le lit de la rivière (Figure 3.6), ou;
- Les rivières perdent de l'eau au profit de la nappe phréatique par des flux sortants à travers le lit de la rivière (Figure 3.7), ou;
- Dans certains environnements, les rivières peuvent quelque fois gagner de l'eau provenant de la nappe phréatique, et en d'autres moments, elles pourraient en perdre au profit de la nappe.
- De même, dans certains tronçons fluviaux on peut noter un flux entrant, tandis que sur d'autres tronçons du même système de rivière il peut y avoir perte d'eau.

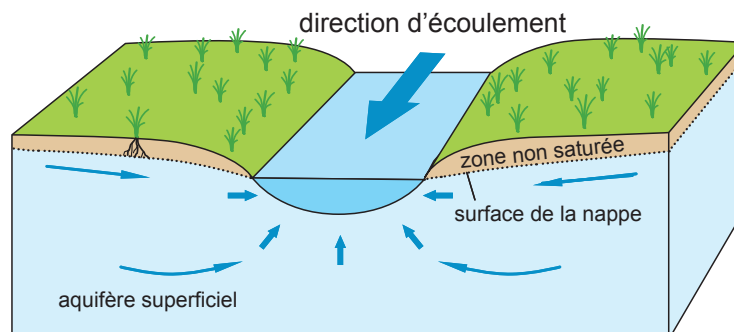


Figure 3.6 : La rivière reçoit de l'eau de la nappe phréatique (USGS, 1998)

Dans le premier cas, le niveau de la nappe phréatique près de la rivière doit être supérieur à celui de la rivière. En revanche pour le second cas (perte d'eau des rivières), le niveau de la nappe phréatique au voisinage de la rivière doit être inférieur à celui de la rivière.

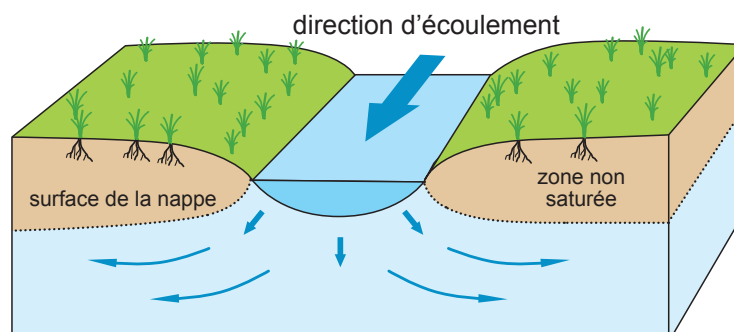


Figure 3.7: Les rivières perdent de l'eau au profit du système des eaux souterraines (USGS, 1998)

Est-ce qu'il y a des prélèvements importants sur les eaux souterraines le long des chenaux de la rivière dans votre bassin?

Les ruisseaux qui perdent de l'eau peuvent être reliés à la nappe par une zone saturée continue (Figure 3.7) ou ils peuvent tout aussi être déconnectés par une zone non saturée (figure 3.8). Il y a un type d'interaction entre les eaux souterraines et les rivières qui a lieu souvent à un moment ou à un autre, par une augmentation rapide du niveau de la rivière qui fait que l'eau passe du lit de la rivière aux berges. Ce processus, appelé emmagasinement des berges, est habituellement causée par une pluie abondante, ou des lachers d'eau rapides (par exemple, des barrages hydroélectriques).



Le fait d'exploiter les aquifères peu profonds qui sont directement liés aux eaux de surface peut avoir un effet significatif sur la relation entre ces deux plans d'eau. Les effets de pompage d'un seul forage ou un petit groupe de forages sur le régime hydrologique sont à l'échelle locale. Cependant, les impacts de nombreux forages pompant l'eau d'un aquifère sur de grandes zones, peuvent être d'envergure régionale.

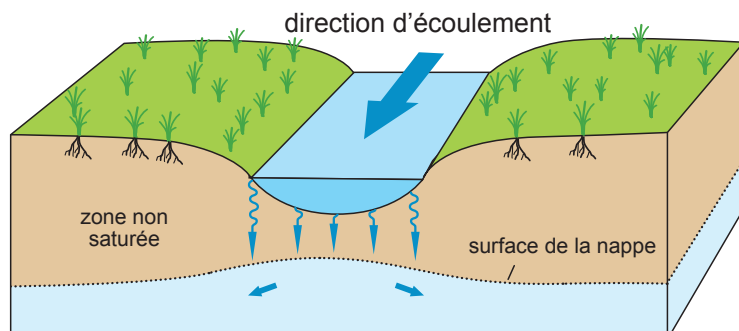


Figure 3.8: Une rivière séparée de la nappe d'eau souterraine par une zone non saturée (USGS, 1998)

Comment l'eau souterraine peut-elle interagir avec les lacs ?

Les lacs interagissent également avec les eaux souterraines, bien que ces interactions de base soient les mêmes que pour les cours d'eau, elles diffèrent de plusieurs façons. Certains lacs reçoivent de l'eau souterraine à travers la totalité de leur lit; d'autres ont une perte d'infiltration au profit de la nappe dans la totalité de leur lit; mais aussi la plupart des lacs pourraient recevoir un apport d'eau souterraine à travers une partie de leur lit et concèderaient une perte d'infiltration dans autres parties du lit (figure 3.9).

Généralement les niveaux d'eau dans les lacs naturels ne varient pas rapidement comparés aux cours d'eau; donc l'emménagement des berges est relativement moins importante dans les lacs que dans les cours d'eau. En outre l'évaporation a un effet plus significatif sur les plans d'eau des lacs que sur les rivières parce que la surface des lacs est généralement plus grande, mais aussi l'eau du lac n'est pas réapprovisionnée aussi facilement que pour les rivières. Les sédiments lacustres sont souvent épais et ont plus de dépôts organiques. Ces matières organiques peu perméables peuvent affecter beaucoup plus la distribution de l'infiltration dans les lacs que dans les rivières.

Les réservoirs qui sont conçus principalement pour contrôler l'écoulement et la distribution de l'eau de surface sont construits dans des vallées de cours d'eau; ils ont quelques caractéristiques aussi bien pour les rivières que pour les lacs; ils peuvent avoir des niveaux très fluctuants, et un emmagasinement des berges tout aussi important. De plus, comme pour les lacs, les réservoirs peuvent subir une perte d'eau significative, par évaporation.

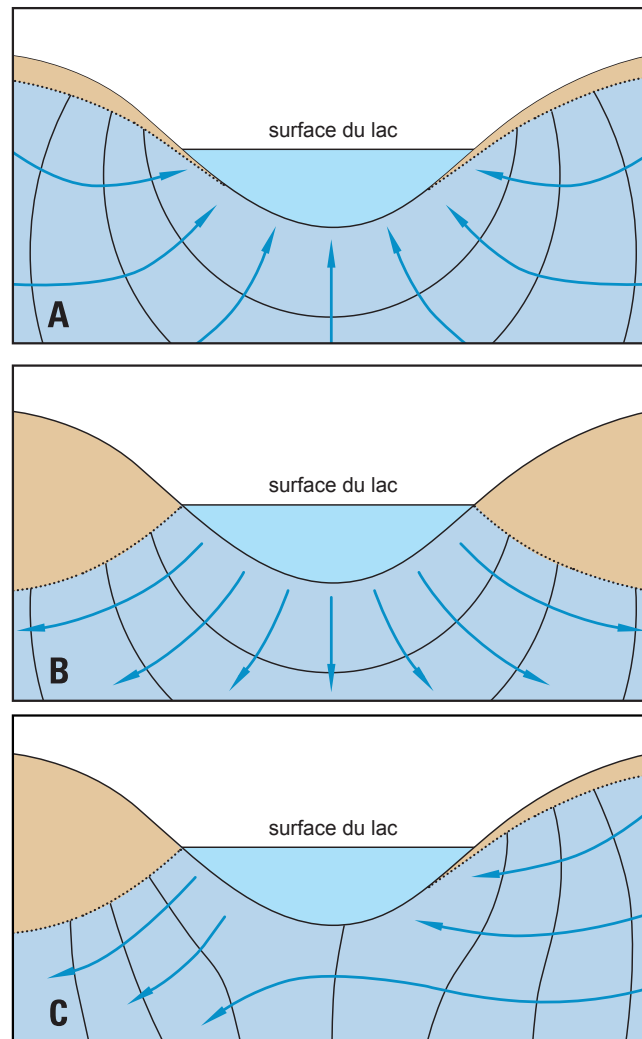


Figure 3.9: Interaction des lacs avec les nappes d'eau souterraine (apport (A), perte d'eau par infiltration au profit des eaux souterraines (B), ou les deux (C))

Comment les eaux souterraines peuvent-elles interagir avec les zones humides et autres écosystèmes liés aux nappes?

Comme les cours d'eau et lacs, les zones humides peuvent recevoir un apport d'eau souterraine, peuvent aussi recharger les nappes phréatiques, ou les deux (figure 3.10). Les zones humides qui occupent des dépressions sur le continent ont des interactions, avec les eaux souterraines, semblables à celles des lacs et rivières. Cependant les zones humides n'occupent pas toujours les points bas et des dépressions; elles peuvent également se former sur des versants ou même sur une ligne de partage des eaux. Les nappes phréatiques interceptent parfois la surface du sol, provoquant l'émergence d'eau souterraine directement à la surface du sol, ce qui permet le développement de plantes de zones humides.

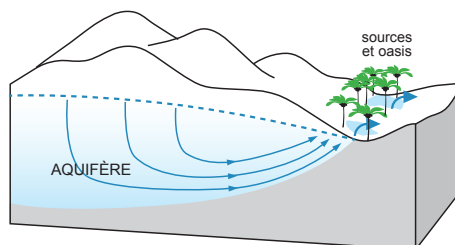
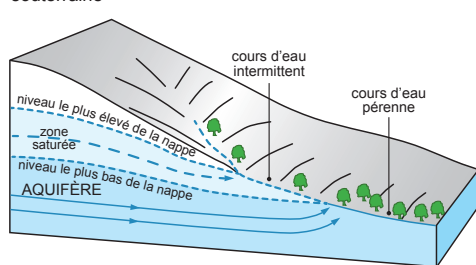
*Est-ce que votre
Organisme de
Bassin évalue les
interactions entre
les eaux de surface
et les aquifères peu
profonds?*

De nombreuses zones humides existent le long de cours d'eau, particulièrement le long de ceux avec un écoulement lent. Bien que ces zones humides riveraines des cours d'eau reçoivent couramment un apport d'eau souterraine, elles dépendent principalement de ces cours d'eau pour leur besoin en eau. Les zones humides dans les parties proches des cours d'eau ont des interactions hydrologiques particulièrement complexes parce qu'elles sont soumises à des variations de niveau d'eau périodiques.



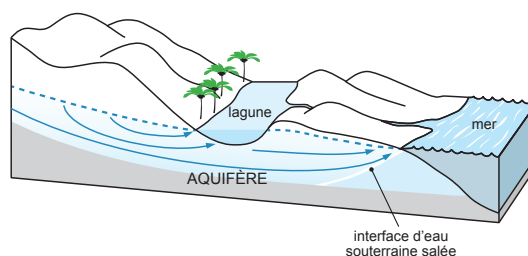
Ecosystème humide

le long du cours supérieur de la rivière, alimenté par la décharge pérenne et intermittente de la nappe d'eau souterraine



Ecosystème de zone humide aride

dépendant d'un système d'écoulement des eaux souterraines profondes, parfois avec seulement des eaux souterraines fossiles



Ecosystème lagunaire côtier

dépendant d'une eau légèrement saumâtre générée par le mélange de l'eau douce souterraine et d'une incursion limitée d'eau de mer

Figure 3.10: Des exemples d'écosystèmes liés aux nappes et des régimes d'écoulement souterrain associées

Interactions eau souterraine - eau de surface, impacts anthropiques.

En plus des interactions naturelles décrites ci-dessus, il ya aussi beaucoup d'interactions entre l'eau souterraine et l'eau de surface qui sont soit aggravées ou créées par une variété d'activités humaines (figure 3.11).

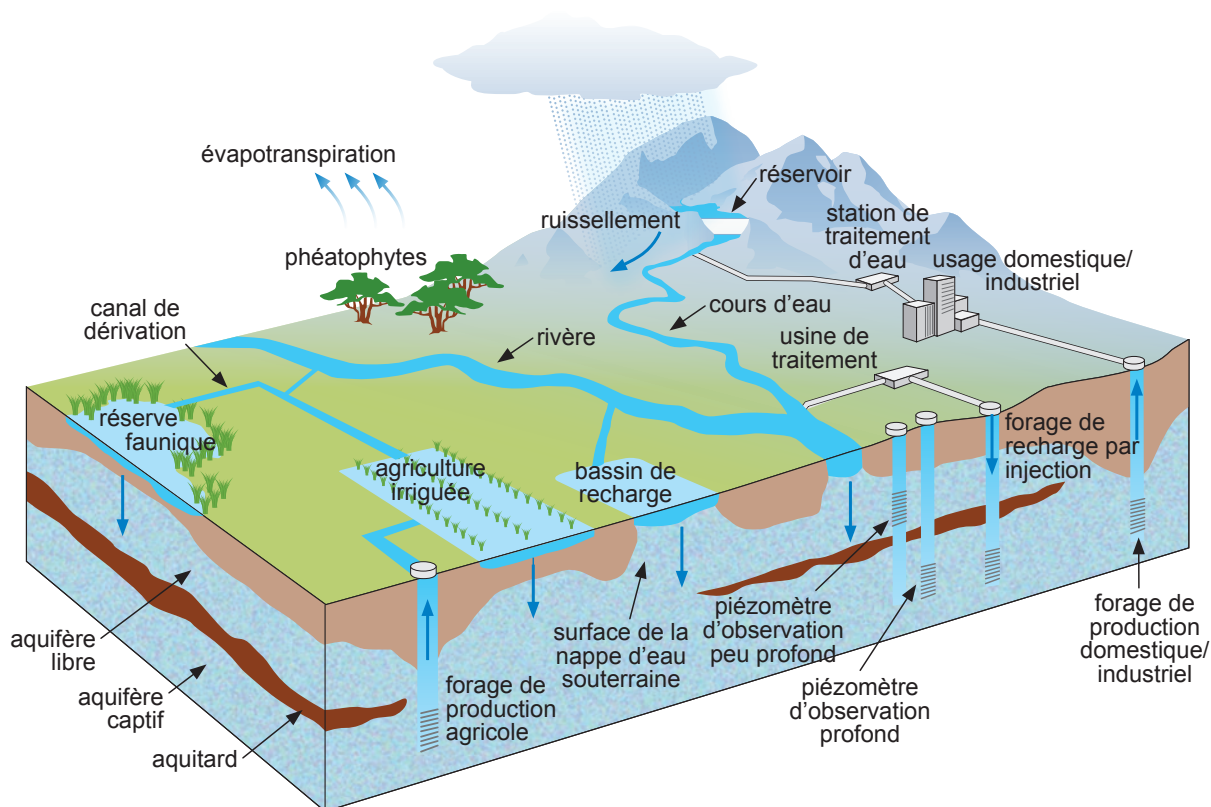


Figure 3.11. Interactions eau de surface - eau souterraine.



Le bloc-diagramme de la figure 3.11 montre quelques-uns des nombreux flux entre le système d'eaux souterraines et l'eau de surface. Le niveau inégal de la nappe montrée, est fortement lié à la direction de ces écoulements. Dans ce schéma, qui pourrait être considéré comme représentatif d'un climat semi-aride, les écoulements naturels proviennent des eaux de surface vers les eaux souterraines, tandis que les apports des eaux souterraines aux eaux de surface le sont par pompage. Dans un environnement humide, l'inverse serait probablement vrai et il y aurait beaucoup de flux naturels des eaux souterraines vers l'eau de surface, par exemple, par le débit de base, les émergences vers les sources ou des zones d'émergence.

Les gestionnaires des Organismes de Bassin doivent être conscients de ces flux et de leurs impacts. Ces écoulements non seulement transfèrent l'eau entre le système d'écoulement souterrain et le système d'eau de surface, mais aussi impactent la qualité de l'eau par le transfert de produits chimiques dissous et de polluants. Dans les environnements urbains et industriels, le flux d'eau polluée entre les eaux souterraines et les eaux de surface est souvent un problème critique de gestion qui doit être résolu par des pratiques de gestion améliorée des déchets, mais aussi par le contrôle et le suivi des pratiques et processus agro-industriels.

3.6 Résumé: Problèmes cruciaux de caractérisation des eaux souterraines

La gestion des eaux souterraines dans les bassins versants fluviaux ou lacustres devrait être fondée sur une bonne compréhension des caractéristiques du système des eaux souterraines, en particulier son interaction avec les eaux de surface (rivières, lacs et zones humides). La caractérisation des eaux souterraines implique un certain nombre de questions à savoir :

- Quantification du taux de recharge des nappes phréatiques;
- Identification des principales zones de recharge des nappes, dans le contexte de l'occupation des sols et des sites de décharge de pollution;
- Compréhension de la nature et les mécanismes des interactions entre les eaux souterraines et de surface, et
- Évaluation des impacts de pompage des nappes sur le système des eaux souterraines.

La caractérisation du système des eaux souterraines peut être vérifiée en effectuant des bilans hydriques du système aquifère pour vérifier notre compréhension des entrées et sorties, ou la modélisation des eaux souterraines afin de prédire les impacts des interactions entre eaux souterraines et eaux de surface, d'une part, et l'exploitation des nappes d'autre part.

Il existe cependant un besoin de mécanisme pour fournir, à l'échelon politique, des informations appropriées sur les ressources en eau souterraine pour son exploitation durable et sa protection. Il s'agira d'établir une politiques, des stratégies et des cadres réglementaires, et nécessitera une compréhension adéquate du système des eaux souterraines par l'acquisition d'informations sur la répartition des unités aquifères et la connaissance des propriétés de l'aquifère (Encadré 3.3). La gestion des aquifères exige



aussi la création de mécanismes pour la participation des principales parties prenantes dans la gestion de la demande en eau et de son allocation.

ENCADRÉ 3.3: LES SOURCES D'INFORMATION POUR LA CARACTÉRISATION DES EAUX SOUTERRAINES

Les données de base requises sont les suivantes :

- des cartes hydrogéologiques pour la distribution en 3D de la nappe et les limites de l'aquifère
- des études hydrogéologiques pour les sources / zones de recharge des aquifères et la décharge naturelle
- des données d'occupation des sols pour les zones de recharge
- des essais de pompage des forages pour les propriétés de l'aquifère
- les prélèvements des forages, les données de qualité et d'usage
- les données météorologiques (précipitations, évaporation, etc)
- la surveillance du niveau des nappes d'eau souterraine.

Même si la gestion des eaux souterraines, dans les bassins versants de rivière ou de lac, doit être basée sur une bonne compréhension des caractéristiques du système des eaux souterraines, y compris son interaction avec les eaux de surface (rivières, lacs et zones humides), il ya un certain nombre de difficultés et d'incertitudes qui doivent être prises en compte. Il s'agit, entre autres, du fait que l'eau souterraine est une ressource cachée et ne peut pas être facilement observée; elle peut se former dans de grands et complexes systèmes aquifères qui sont difficiles à caractériser et que les aquifères ont une grande variabilité spatiale dans



3.7 References

Batu Vedat, 1998:

Aquifer Hydraulics. A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis.

John Wiley & Sons, INC.

Castany, G, 1982:

Principes et méthodes de l'hydrogéologie. BORDAS, Paris

<http://csenv.free.fr/expos%E9s/hydrog%E9ologie/hydrog%E9ologie.htm>

Foster, S. S. D., and Hirata, R. A.. 1988.

Groundwater Pollution Risk Assessment: A Methodology Using Available Data.

Lima, Peru: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.

GW•MATE, 2002-2006,

Briefing Notes 2,13 & 14.

<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,content-MDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSite-PK:4602123,00.html>

MacDonald, A., Davies, J., Calow, R., and Chilton J., 2005:

Developing Groundwater. A guide for Rural Water Supply.

YIDG Publishing.

Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., Chorus, 2006:

Protecting Groundwater for Health.

Managing the quality of Drinking-water source.

WHO, IWA Publishing.

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf

Tuinhof A, Foster S, Steenbergen F van, Talbi A & Wishart M 2011

Appropriate groundwater management for Sub-Saharan Africa—in face of demographic pressure and climatic variability.

GW-MATE Strategic Overview Series 5. World Bank (Washington DC—USA).

USGS, 1998:

Groundwater and Surface water, a single resource.

U.S. Geological Survey Circular 1139, by Thomas C. Winter, Judson W. Harvey, O.

Lehn Franke, and William M. Alley

USGS, 1999:

Sustainability of groundwater resources.

U.S. Geological Survey Circular 1186, by William M. Alley, Thomas E. Reilly, O. Lehn

Franke

Villholth K. 2011.

Needs Assessment to Support Groundwater Management in the Lake and River Basin Organisations of Africa. Final Report (unpublished). BGR / AGW-Net



3.8 Exercice

But :

Apprécier le lien entre les eaux souterraines et la gestion des eaux de surface

Durée:

60 Minutes

Activité:

En 3 groupes: Discuter de l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans votre bassin versant :

- Avez-vous des connaissances sur la façon dont elle affecte la rivière, le lac ou les zones humides dans votre bassin?
- Quels sont les processus naturels ou les activités humaines qui affectent ces interactions?
- Quelles mesures votre Organisme de Bassin a prises (ou devrait prendre) pour évaluer ou améliorer la caractérisation des relations eau souterraine et eau de surface?
- Faire des recommandations sur la façon dont l'eau souterraine et l'eau de surface doivent être gérées ensemble au sein de votre bassin versant.

Compte rendu :

Chaque groupe présente ses recommandations suivies d'une discussion générale.



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



GESTION DES AQUIFÈRES TRANSFRONTALIERS





CONTENU

MODULE 4

Gestion des aquifères transfrontaliers

4.1	Introduction	4
4.2	Qu'est-ce qu'un aquifère transfrontalier?	4
4.3	Aquifères transfrontaliers en Afrique	6
4.4	Approche et mécanismes pour la gestion des aquifères transfrontaliers	10
4.5	Les défis spécifiques et des cas de gestion de AT en Afrique	13
4.6	Références	15
4.7	Exercice	16

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa
(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





GESTION DES AQUIFÈRES TRANSFRONTALIERS

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES:

- Comprendre le concept des eaux souterraines transfrontalières et leurs problèmes de gestion
- Se familiariser avec la localisation et l'étendue des aquifères transfrontaliers en Afrique
- Se familiariser avec le cadre juridique pour la gestion des aquifères transfrontaliers
- Comprendre quelques problèmes actuels de gestion et approches appliquées aux aquifères transfrontaliers en Afrique

4.1 Introduction

La gestion de l'eau est généralement perçue et pratiquement réalisée dans les bassins hydrologiques (bassins versants fluviaux, lacustres). Lorsque ces bassins transcendent les frontières nationales, les questions deviennent de fait un sujet de préoccupation internationale. Les actions et les perturbations sur les ressources en eau dans un pays ont potentiellement une incidence sur les autres pays qui partagent cette ressource transfrontalière. Puisque les ressources en eau deviennent de plus en plus affectées par divers facteurs tels que le changement climatique et l'exploitation pour les besoins humains, la coopération internationale devient alors un sujet très important dans la gestion des ressources en eau. La plupart des grands bassins hydrographiques et beaucoup de bassins plus petits dans le monde sont partagés entre deux ou plusieurs pays ; un total de 263 bassins fluviaux sont transfrontaliers. Les outils pour la co-gestion, le droit international, et la théorie générale pour de meilleures options de gestion des eaux transfrontalières sont progressivement développées, et le monde acquiert de plus en plus d'expérience dans ce domaine (RIOB et le GWP, 2012).

4.2 Qu'est-ce qu'un aquifère transfrontalier?

Les eaux souterraines, ainsi que les eaux de surface, coulent inévitablement à travers les frontières internationales. Mais l'attention sur les implications possibles, ainsi que les approches liées à ces eaux partagées n'ont été mises au point que récemment. L'accent a été mis jusque-là sur l'eau de surface, pour des raisons évidentes de visibilité de la ressource. Toutefois, puisque les eaux de surface et souterraines sont généralement liées hydrologiquement, la composante eaux souterraines ne peut pas être ignorée si on tient à ce que les interactions des eaux transfrontalières soient bien inventoriées et que les conflits éventuels associés soient évités.

Les aquifères transfrontaliers sont les principaux systèmes d'eaux souterraines qui s'étendent sur plus d'un pays. La définition d'un Aquifère transfrontalier est: «un aquifère ou système aquifère, dont certaines parties sont situées dans des États différents» (Article 2c, Stephan 2009) (Fig. 4.1). Puisque les eaux souterraines sont plus ou moins présentes partout, au niveau de la plupart des frontières il existe des eaux souterraines partagées. Toutefois, le terme «Aquifère transfrontalier» semble être



réservé pour ces grands aquifères contigus et productifs ou ces systèmes aquifères qui méritent une gestion commune en raison de leur importance potentielle ou actuelle pour l'approvisionnement en eau ou pour d'autres raisons, par exemple, pour les importants écosystèmes associés. Actuellement, plus de 450 aquifères transfrontaliers ont été identifiés dans le monde (IGRAC, 2012). Comme le montre la figure 4.1, les systèmes aquifères transfrontaliers ne peuvent pas avoir des relations amont-aval évidentes, par opposition aux cours d'eau de surface, et ils peuvent même changer de direction d'écoulement en raison de l'évolution des schémas de prélèvement. Même au sein du même système global, l'hétérogénéité des propriétés et la stratification peut donner lieu à des sens d'écoulements différents entre les aquifères locaux peu profonds et ceux plus profonds, c'est-à-dire les aquifères d'extension régionale. Cette spécificité liée aux eaux souterraines fait que la caractérisation et la co-gestion des aquifères transfrontaliers sont plus complexes.

Les aquifères transfrontaliers doivent être caractérisés en termes d'extension (horizontale et verticale), de recharge (les zones, les mécanismes, les taux), de capacité de stockage, de schémas d'écoulement, de relation avec les systèmes d'eau de surface, de vulnérabilité, de niveaux d'exploitation actuels, de potentiel d'exploitation, et de menaces existants.

Historiquement ces évaluations s'arrêtaient à la frontière de chaque pays, alors que celles-ci doivent être faites conjointement, de façon harmonisée, sur toutes les parties communes des systèmes aquifères. Il y a une différence importante entre les aquifères renouvelables et ceux non renouvelables ; ces derniers reçoivent une recharge actuelle négligeable, car en principe ils ne sont pas naturellement réalimentés même si ils sont exploités.

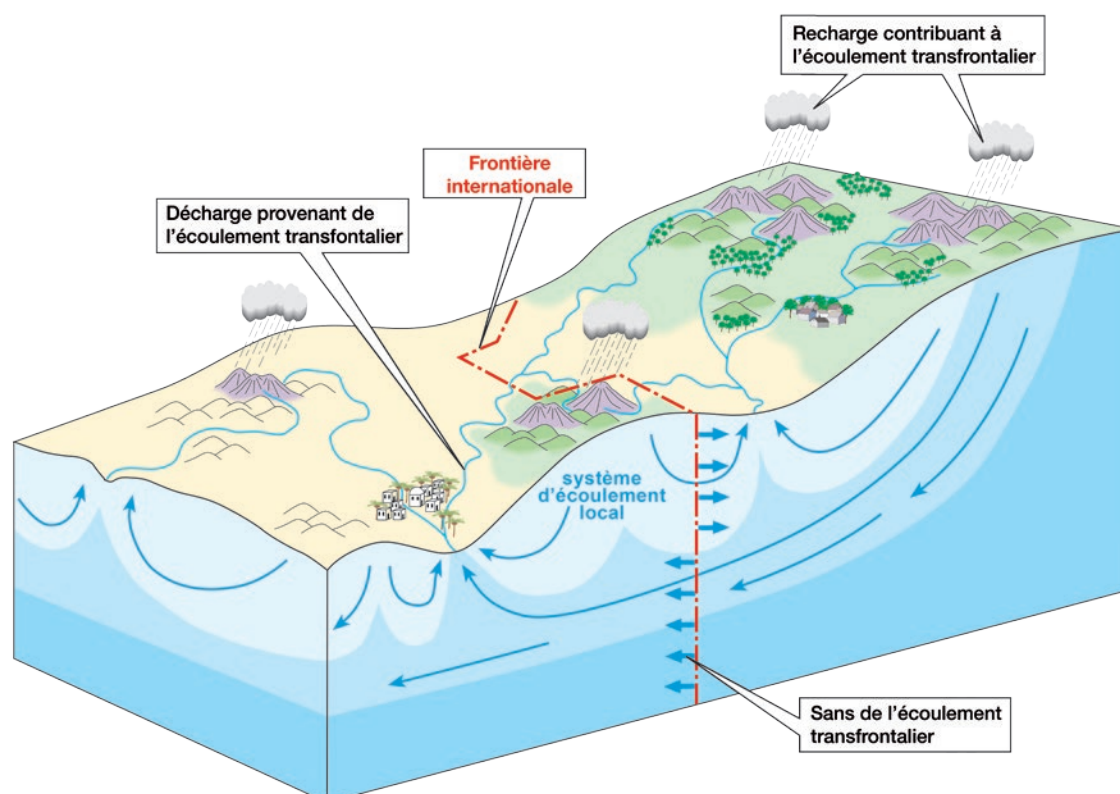


Figure 4.1 Eaux souterraines transfrontalières



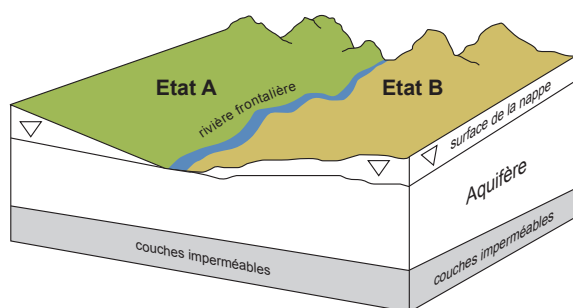
Des méthodes de classification différentes des aquifères transfrontaliers ont été développées dans le but de les regrouper de manière systématique et d'assurer une gestion cohérente selon leurs différentes caractéristiques. Un exemple est donné dans la figure 4.2.

L'initiative de l'UNESCO pour la gestion des ressources aquifères internationales partagées (ISARM), le programme global d'évaluation et de cartographie hydrogéologique (WHYMAP), le Centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines (IGRAC), le Programme des NU pour l'évaluation mondiale de l'eau (WWAP), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de nombreuses autres organisations partenaires au cours de la dernière décennie, même la récente évaluation des aquifères transfrontaliers (TWAP) ont compilé et complété l'information disponible à l'échelle mondiale concernant les aquifères transfrontaliers.

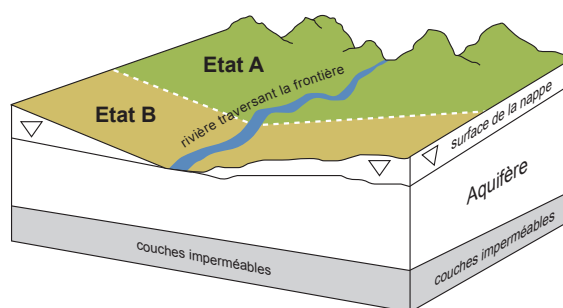
4.3 Aquifères transfrontaliers en Afrique

L'Afrique est connue pour la prépondérance de systèmes d'eau partagés entre les nations. Environ 64% de la superficie du continent se trouvent dans des bassins versants internationaux transfrontaliers. Les bassins fluviaux comme le Nil, le Congo, le Niger, la Volta, l'Orange-Senqu et le Zambèze sont les plus importants. Un grand nombre d'aquifères ont également été identifiés pour l'Afrique, environ 80; cependant des aquifères plus petits sont susceptibles d'être rajoutés avec la disponibilité d'informations et de connaissances plus détaillées. La figure 4.3 montre une carte d'aquifères transfrontaliers actuellement identifiés en Afrique, ils sont superposés aux bassins versants internationaux; le tableau 4.1 fournit des données clés pour ces aquifères. Il est clair à partir de là que géographiquement, les ressources en eau souterraines et de surface ne coïncident pas forcément.

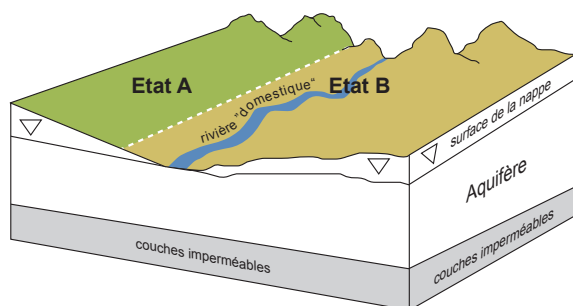
Les aquifères transfrontaliers englobent une grande variété de caractéristiques, la taille ainsi que le contexte géologique, la recharge et la densité de la population. Les aquifères transfrontaliers actuellement identifiés représentent environ 42% de la superficie du continent et 30% de la population y vivent. Il y a une énorme différence entre les aquifères, en terme de population vivant dans les bassins aquifères transfrontaliers individuels; dans le cas du système aquifère des Grès Nubiens (AFNE12) le nombre d'habitants est d'environ 63 millions, pour l'aquifère de la moyenne vallée de Zambèze il y a moins de cent habitants (AFWC21) (Altchenko et Villholth, 2013). La même hétérogénéité existe en termes de zone d'extension, allant de moins de 1 500 km² (aquifère de Jabel El Hamra, AFNE22 et l'aquifère Figuig, AFNE18) à plus de 2,6 millions de km² (système aquifère des Grès Nubiens, AFNE12). Ce dernier est comparable en taille au bassin versant du lac Tchad (2,4 millions de km²). Les aquifères transfrontaliers sont partagés entre deux et jusqu'à huit États, c'est le cas pour le bassin aquifère du lac Tchad (AFWC14).

**Type A:**

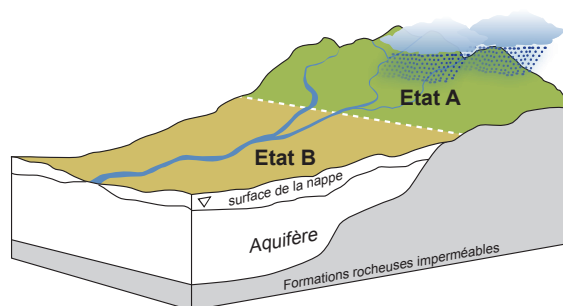
Un aquifère libre qui est lié hydrauliquement avec une rivière, les deux coulent le long d'une frontière internationale (c-à-d, la rivière forme la frontière entre deux États)

**Type B:**

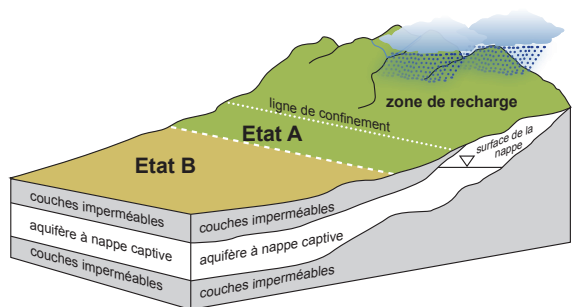
Un aquifère libre traversé par une frontière internationale et lié hydrauliquement avec une rivière qui est également traversée par la même frontière internationale

**Type C:**

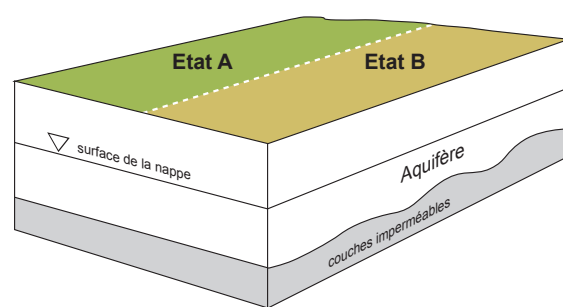
Un aquifère libre qui traverse une frontière internationale et qui est hydraulique lié à une rivière qui coule (complètement) dans le territoire d'un État

**Type D:**

Un aquifère libre qui est complètement dans le territoire d'un État, mais qui est lié hydrauliquement à une rivière qui coule à travers une frontière internationale (dans ce cas, l'aquifère se trouve toujours dans l'État situé « en aval »)

**Type E:**

Un aquifère captif, sans lien hydraulique avec un cours d'eau de surface, avec une zone de recharge (dans une zone où l'aquifère est libre) qui traverse une frontière internationale ou qui se trouve complètement dans un autre État

**Type F:**

Un aquifère transfrontalier qui n'est lié à aucun cours d'eau de surface et dépourvu de toute recharge

Figure 4.2. Différents types de systèmes aquifères transfrontaliers, en fonction des caractéristiques d'écoulement et des interactions avec les eaux de surface. Source: Eckstein and Eckstein (2003)

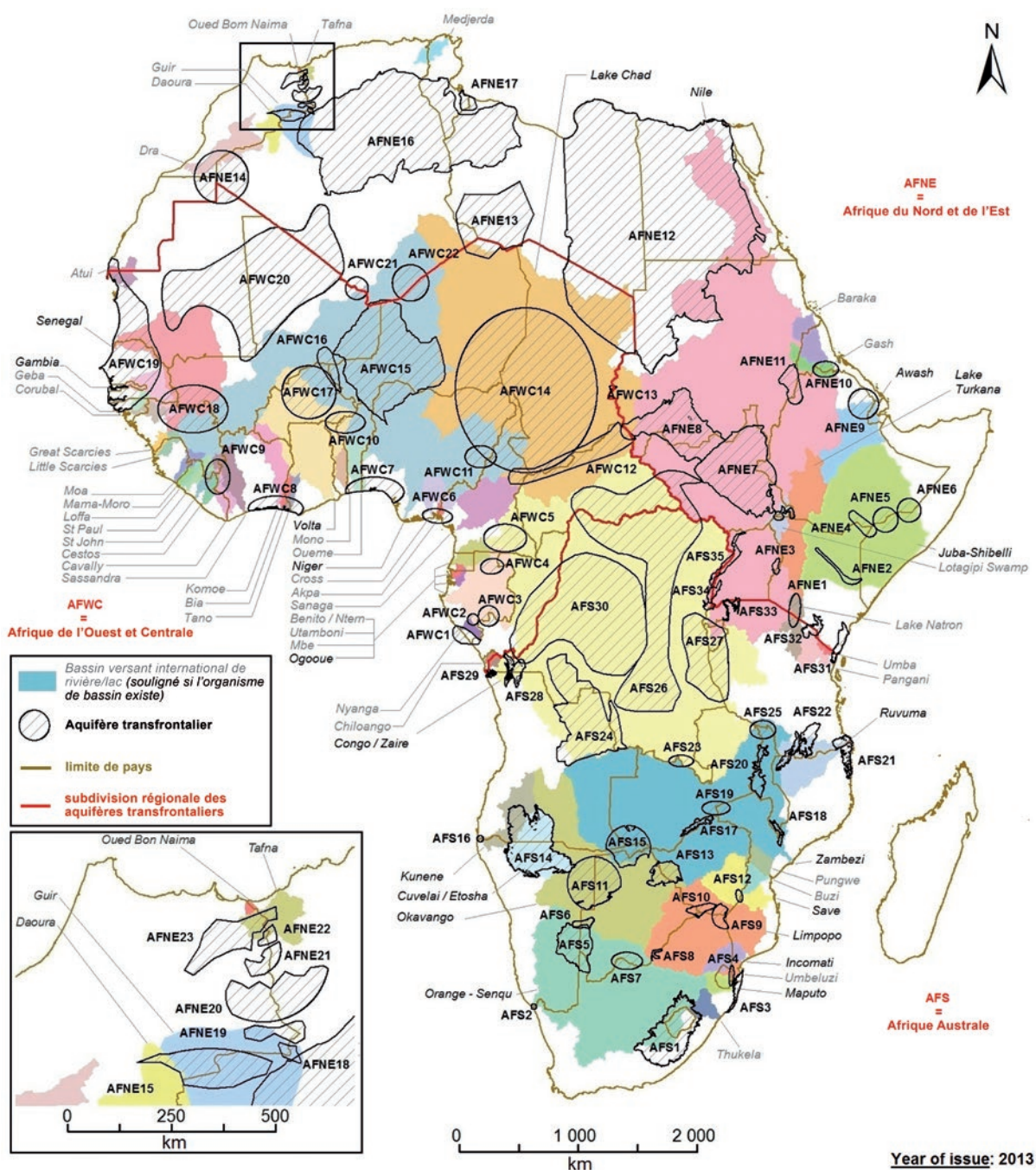


Figure 4.3. Carte des aquifères transfrontaliers en Afrique. Source: Altchenko and Villholth (2013)



Tableau 4.1. Données clés des aquifères transfrontaliers en Afrique (cf. figure 4.3 pour l'emplacement des aquifères)

Inventory of transboundary aquifers in Africa							
ID	Name	Countries sharing the aquifer	Population (inhabitants)	Area (km ²)	Aquifer type	Rainfall (mm/year)	Annual recharge (WHYMAP)
AFS1	Karoo sedimentary aquifer	Lesotho/South Africa	5,568,000	166,000	Consolidated sedimentary rocks	350 – 1,200	VL to M
AFS2	Coastal sedimentary basin 5	Namibia/South Africa	7,900	1,700	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	45 – 55	VL to M
AFS3	Coastal sedimentary basin 6	Mozambique/South Africa	548,000	11,700	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	700 – 1,200	M to H
AFS4	Rhyolite-Breccia aquifer	Mozambique/South Africa/Swaziland	206,000	5,500	Volcanic/Quaternary	600 – 850	VL to M
AFS5	Southwest Kalahari/Karoo basin	Botswana/Namibia/South Africa	15,500	85,000	Kalahari groups aquifer and Karoo supergroup aquifers	200 – 350	VL to M
AFS6	Ncojane aquifer	Botswana/Namibia	2,300	10,300	Consolidated sedimentary rocks	300 – 350	VL to M
AFS7	Khakhea/Bray dolomite	South Africa/Botswana	57,000	30,000	Dolomite	300 – 450	VL to M
AFS8	Ramotswa dolomite basin	Botswana/South Africa	135,500	3,200	Malmari subgroup of the Transvaal supergroup	500 – 550	VL to M
AFS9	Limpopo basin	Mozambique/South Africa/Zimbabwe	313,800	20,000	Volcanic and basement rocks	400 – 700	VL to L
AFS10	Tuli Karoo sub-basin	Botswana/South Africa/Zimbabwe	70,600	14,330	Volcanic and basement rocks	300 – 450	VL to L
AFS11	Northern Kalahari/Karoo basin	Angola/Botswana/Namibia/Zambia	35,900	144,400	Consolidated sedimentary rocks	380 – 550	VL to H
AFS12	Save alluvial aquifer	Mozambique/Zimbabwe	32,600	4,500	Alluvial	400 – 600	VL to M
AFS13	Eastern Kalahari/Karoo basin	Botswana/Zimbabwe	54,300	39,600	Upper Karoo Sandstone	400 – 600	VL to M
AFS14	Cuvetel and Etosha basin	Angola/Namibia	1,032,400	202,000	Consolidated sedimentary rocks	300 – 900	L to M
AFS15	Nata Karoo sub-basin	Botswana/Namibia/Zimbabwe	195,000	91,000	Ecca sequence	500 – 750	VL to M
AFS16	Coastal sedimentary basin 4	Angola/Namibia	20	2,200	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	100 – 150	VL to M
AFS17	Medium Zambezi aquifer	Mozambique/Zambia/Zimbabwe	50,800	10,700	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	720 – 780	VL to M
AFS18	Shire Valley aquifer	Malawi/Mozambique	527,000	6,200	Tertiary/Quaternary	780 – 900	M to VH
AFS19	Arangua Alluvial	Mozambique/Zambia	12,500	21,200	Alluvial	700 – 1,100	VL to M
AFS20	Sand and gravel aquifer	Malawi/Zambia	2 233,000	25,300	Unconsolidated intergranular aquifer and weathered basement complex	800 – 1,200	VL to VH
AFS21	Coastal sedimentary basin 3	Mozambique/Tanzania	794,000	23,000	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	930 – 1,200	H
AFS22	Karoo-Sandstone aquifer	Mozambique/Tanzania	214,500	40,000	Consolidated sedimentary rocks	900 – 1,700	M to VH
AFS23	Kalahari/Katangan basin	DRC/Zambia	1,006,000	15,600	Katangan and Kalahari sequence	1,200 – 1,300	H to VH
AFS24	Congo Intra-cratonic	Angola/DRC	1,920,000	317,200	Consolidated sedimentary rocks	1,200 – 1,650	H
AFS25	Weathered basement	Malawi/Tanzania/Zambia	852,000	25,842	NI	900 – 2,000	M to VH
AFS26	Karoo Carbonate	CAR/Congo/South Sudan	9,400,000	941,100	Limestone/Sandstone	1,000 – 1,800	H to VH
AFS27	Tanganyika aquifer	Burundi/DRC/Tanzania/Rwanda	11,940,000	222,300	Fractured basalt and granite	800 – 1,800	VL to VH
AFS28	Dolomitic aquifer	Angola/DRC	750,600	21,300	Karst weathered dolomite	1,100 – 1,450	H to VH
AFS29	Coastal sedimentary basin 2	Angola/DRC	34,000	2,250	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	800 – 1,000	VL to H
AFS30	Cuvette Centale	Congo/DRC	14,000,000	814,800	Alluvial Sandstones	1,400 – 2,100	H to VH
AFS31	Coastal sedimentary basin 1	Kenya/Tanzania	2,150,000	16,800	Quaternary and consolidated sedimentary rocks	850 – 1,250	M to H
AFS32	Kilimanjaro aquifer	Kenya/Tanzania	1,396,000	14,600	Volcanic alluvium	600 – 1,600	VL to M
AFS33	Kagera aquifer	Rwanda/Tanzania/Uganda	493,500	5,800	Alluvial unconsolidated sand and gravels	930 – 1,800	VL to M
AFS34	Mgahinga	DRC/Rwanda/Uganda	1,451,000	4,400	Volcanic	1,250 – 1,650	VL to M
AFS35	Western Rift valley sediment	DRC/Uganda	1,151,000	29,500	Volcanic	800 – 1,250	VL to H
AFWC1	NN	Congo/Gabon	13,300	23,000	NI	1,400 – 1,750	M to VH
AFWC2	NN	Congo/Gabon	48,500	7,100	NI	1,650 – 1,950	H to VH
AFWC3	NN	Congo/Gabon	41,000	23,500	NI	1,750 – 1,950	H to VH
AFWC4	NN	Congo/Gabon	1,700	19,600	NI	1,600 – 1,750	H to VH
AFWC5	NN	Cameroon/CAR/Gabon	178,000	66,400	NI	1,550 – 1,650	H to VH
AFWC6	Rio Delrey	Cameroon/Nigeria	3,300,000	24,000	Upper Miocene to Quaternary	2,500 – 3,130	VH
AFWC7	Keta basin	Benin/Nigeria/Togo	16,896,000	55,400	Quaternary (sand, silt, clay)	950 – 2,450	H to VH
AFWC8	Tano basin	Côte d'Ivoire/Ghana	4,740,000	43,000	Quaternary Terminal Continental and Maestrichtien Aquifer	1,300 – 1,930	H to VH
AFWC9	NN	Côte d'Ivoire/Guinea/Liberia	2,370,000	47,300	NI	1,400 – 2,050	H to VH
AFWC10	Kandi sedimentary basin	Benin/Burkina Faso/Ghana/Togo	1,143,000	47,800	Cambro-Ordovicien and alluvial	850 – 1,100	VL to VH
AFWC11	Garoua - Chari	Cameroon/Nigeria	1,870,000	38,400	Sandstone - Clay	950 – 1,400	H to VH
AFWC12	NN	Cameroon/CAR/Chad/Sudan	716,000	155,400	Sedimentary	700 – 1,600	H to VH
AFWC13	Disa	Chad/Sudan	74,300	1,500	Sandstone	500 – 550	VL to M
AFWC14	Lake Chad	CAR/Cameroon/Chad/Niger/Nigeria	22,419,100	1,300,500	Sedimentary: the Upper Quaternary, the Lower Pliocene and the TC	40 – 1,400	VL to H
AFWC15	Irhazer-Iulemeden	Algeria/Mali/Niger/Nigeria	12,888,600	545,400	Sedimentary deposit including IC and TC	80 – 900	VL to VH
AFWC16	NN	Burkina Faso/Mali/Niger	333,000	3,500	NI	250 – 600	VL to M
AFWC17	Liptako-Gourma aquifer	Burkina Faso/Niger	7,758,300	159,500	Fractured metamorphic	400 – 900	VL to H
AFWC18	NN	Guinea/Mali/Senegal	4,250,000	185,500	Birimien	850 – 1,650	VL to VH
AFWC19	Senegalo-Mauritanian basin	Gambia/Guinea-Bissau Mauritania/Senegal	11,930,000	331,450	Maestrichtien	20 – 1,850	VL to VH
AFWC20	Taoudeeni basin	Algeria/Mali/Mauritania	82,400	936,000	Multilayers	10 – 350	VL to L
AFWC21	L'air Cristalline aquifer	Algeria/Mali	84	28,400	NI	60 – 100	VL to M
AFWC22	Tin Seririne	Algeria/Nigeria	520	73,700	NI	20 – 50	VL to L
AFNE1	Rift aquifer	Kenya/Tanzania/Uganda	279,000	21,150	Volcanic	450 – 1,100	VL to M
AFNE2	Merti aquifer	Kenya/Somalia	129,000	13,500	Semi-consolidated sedimentary	350 – 750	L to M
AFNE3	Mount Elgon	Kenya/Uganda	806,550	5,400	Volcanic	1,000 – 1,300	VL to M
AFNE4	Dawa	Ethiopia/Kenya/Somalia	223,150	24,000	Volcanic rocks, alluvials and Precambrian basement	300 – 650	VL to L
AFNE5	Juba aquifer	Ethiopia/Kenya/Somalia	197,600	34,600	Aquifers in Precambrian and intrusive rocks	270 – 450	VL to L
AFNE6	Shabelle aquifer	Ethiopia/Somalia	334,000	31,000	Sedimentary and minor volcanic aquifers	280 – 400	VL to L
AFNE7	Sudd basin	Ethiopia/Kenya South Sudan/Sudan	2,926,500	331,600	Precambrian and volcanic rocks with patches of alluvials/sedimentary	450 – 1,100	M
AFNE8	Baggara basin	CAR/South Sudan/Sudan	2,433,500	239,300	Umm Ruwaba (overlain the Nubian Formation)	300 – 900	L to M
AFNE9	Awash Valley aquifer	Djibouti/Eritrea/Ethiopia	627,400	50,700	Volcanic	110 – 350	VL to L
AFNE10	Mareb aquifer	Eritrea/Ethiopia	1,827,900	22,800	Precambrian and intrusive rocks	450 – 550	VL to M
AFNE11	Gedaref	Eritrea/Ethiopia Sudan	732,000	38,700	Precambrian and volcanic rocks with patches of alluvials/sedimentary	400 – 950	VL to M
AFNE12	Nubian Sandstone aquifer system	Chad/Egypt/Libya/Sudan	67,320,000	2,608,000	Nubian and Post-Nubian	1 – 550 (mainly < 30)	Mainly VL (VL to VH)
AFNE13	Mourzouk-Djado basin	Algeria/Libya/Nigeria	108,000	286,200	Sedimentary	< 20	Mainly VL (VL to M)
AFNE14	Tindouf aquifer	Algeria/Mauritania/Morocco	107,000	160,000	Alternating series of calcareous rocks and sand	30 – 200	VL to M
AFNE15	Errachidia basin	Algeria/Morocco	156,300	18,500	Sandstone, calcareous, dolomite	80 – 200	VL to L
AFNE16	North Western Sahara Aquifer system	Algeria/Libya/Tunisia	4,000,000	1,190,000	Sand, Sandstone, sandy clay, calcareous, dolomite	10 – 300 (mainly < 50)	VL to L
AFNE17	Djaffar Djefara	Libya/Tunisia	262,400	15,800	NI	130 – 250	L
AFNE18	Figuig	Algeria/Morocco	32,300	1,500	Phreatic Aquifer, Porous	100 – 170	VL to L
AFNE19	Chott Tigr-Lahouita	Algeria/Morocco	26,800	4,700	Porous, Karst, Dolomite Limestone and Sandstone	180 – 250	VL to L
AFNE20	Ain Beni mathar	Algeria/Morocco	23,100	20,000	Karstic, Dolomite Limestone and Dolomite	260 – 350	VL to M
AFNE21	Angad	Algeria/Morocco	25,600	3,500	Porous, Plio-Quaternary	350 – 450	VL to M
AFNE22	Jbel El Hamra	Algeria/Morocco	40,100	1,250	Karstic	440 – 500	VL to L
AFNE23	Triffa	Algeria/Morocco	920,000	13,100	PorousVillafranchian and Quaternary	370 – 450	M

Notes: NN = No name referenced; NI = No information; TC = Terminal Continental; IC = Intercalary Continental; VL = Very low (0 - 2 mm/year); L = Low (2 - 20 mm/year); M = Medium (20 - 100 mm/year); H = High (100 - 300 mm/year); VH = Very high (> 300 mm/year)



4.4 Approche et mécanismes pour la gestion des aquifères transfrontaliers

La gestion des eaux souterraines est une tâche complexe car elle nécessite la coordination dans de nombreux secteurs et utilisateurs (par exemple, l'approvisionnement en eau, l'agriculture, l'énergie, l'industrie, et l'environnement) et elle doit être intégrée avec la gestion des eaux de surface. Essayer de le faire au niveau international pose une autre dimension de défis en termes de coordination et d'intégration. L'eau souterraine a traditionnellement été considérée comme une question nationale, mais la nécessité d'une coopération internationale sur les eaux souterraines est de plus en plus reconnue. C'est notamment le cas lorsque :

- Les ressources en eau souterraine coulent de manière évidente à travers les frontières, comme dans le cas où l'eau souterraine est principalement rechargée dans un pays, mais les rejets se font dans l'autre (cf. Type E dans la figure 4.2);
- L'exploitation des eaux souterraines dans un pays a (ou pourrait avoir) des conséquences importantes et un impact défavorable dans un autre pays;
- Il existe des écosystèmes importants dans un pays dépendent de l'écoulement des eaux souterraines venant d'un autre pays;
- Des prélèvements importants ou des modifications de l'occupation des terres qui peuvent avoir des incidences sur les ressources en eau souterraine (quantité ou qualité) dans les pays voisins, sont planifiés dans un autre pays;
- Les eaux souterraines constituent une ressource importante dans la gestion de la sécheresse et généralement pour le développement humain d'un ou de plusieurs pays voisins.

Les principes du droit international pour la coopération sur les **aquifères transfrontaliers** s'appuient sur les principes généraux de la coopération sur les **eaux de surface**. Certains de ces principes ont trait à :

- La coopération sur la base de l'égalité souveraine, l'intégrité territoriale, du bénéfice mutuel et de la bonne foi;
- Le concept de «l'utilisation équitable et raisonnable»;
- Le concept de «pas de préjudice», c'est à dire que toute exploitation et gestion des ressources se fait sans intention préalable de nuire à l'autre partie;
- La notification préalable, à savoir que les États ont l'obligation d'informer l'autre partie avant toute mise en œuvre d'investissements importants et d'interventions qui peuvent affecter la ressource dans le sens transfrontalier du terme. La notification veut dire également informer immédiatement les autres États des situations d'urgence liées au cours d'eau et qui peuvent les affecter, comme les inondations.



Tableau 4.2 Caractéristiques particulières des aquifères et les implications pour la gestion des Aquifères Transfrontaliers

	Considérations particulières / dispositions nécessaires dans la gestion des Aquifères Transfrontaliers								
Les caractéristiques distinctes des eaux souterraines	Enregistrement conjoint des usagers / usages, la réglementation, la surveillance et le respect de la réglementation	Notification préalable des plans d'exploitation à l'autre partie	Principe de précaution	Résolution des conflits	Engagement des parties prenantes	Suivi à long terme des ressources	Souplesse dans le modèle conceptuel et accords clairs de partage de données	Règlements de l'utilisation des terres et sur les rejets	Rendre prioritaire la protection
Source accessible	xx				xx				
Invisible et hétérogène		x	x	x	x	x	x		
Vulnérables aux impacts de l'occupation des terres					x			xx	x
Réaction lente / délai de réponse / renouvellement lent		x	xx	x		xx			
Recharge / décharge est dispersée et inégale								x	xx
Frontières incertaines				x		x	xx		
Impacts du changement climatique incertains						xx	xx		
Relations avec l'aval, floues			x	x	x	x	xx		

- Partage de données, c'est à dire des mécanismes institutionnalisés pour le partage régulier de nouvelles données et de connaissances liées à l'aquifère;
- Le principe de précaution, c'est à dire que l'exploitation ne se fait pas si les connaissances sont insuffisantes pour montrer que les impacts environnementaux et socio-économiques seront faibles. Ces protections peuvent être assouplies seulement si d'autres découvertes scientifiques émergent et fournissent des preuves solides qu'aucun dommage important n'en résultera;
- La participation des parties prenantes, à savoir que les acteurs sont impliqués et ont leur mot à dire dans les décisions relatives à l'exploitation de la ressource;
- Règlement des différends.



Cependant, il est important de garder à l'esprit que l'eau souterraine a des caractéristiques inhérentes particulières; pour cela il est nécessaire de mettre l'accent sur certains principes, à savoir la précaution, la surveillance à long terme de la ressource, le suivi / enregistrement conjoint des utilisateurs, notification préalable, et priorité de la protection (tableau 4.2). En effet l'eau souterraine se déplace généralement très lentement, ces principes sont essentiels : le principe de précaution, la surveillance à long terme et la priorisation de la protection (par exemple, des zones importantes de recharge). En ce qui concerne la notification préalable, l'exploitation peut se rapporter au changement important des plans d'occupation des sols ou à une exploitation à grande échelle de la ressource en eau souterraine, plutôt que les grandes infrastructures de barrages qui affectent généralement le partage des eaux de surface. La notification préalable pourrait également porter sur le déversement de produits chimiques ou la détection d'une contamination de la nappe dans la zone frontalière. Afin de parvenir à une coopération pleine et efficace sur les aquifères, les États doivent élaborer des plans et programmes conjoints (ou séparés mais coordonnés) d'exploitation des eaux souterraines, d'utilisation et de protection, de mettre en œuvre des politiques communes / harmonisées de gestion des eaux souterraines, de formation du personnel technique et d'études environnementales conjointes.

En principe, les eaux souterraines dans le cadre d'un système hydrologique unique relève des dispositions du droit international de l'eau¹. Toutefois, les mécanismes de gestion des eaux internationales ont traditionnellement porté sur les eaux de surface et les eaux souterraines ont été ignorées ou supposées être prises en compte. En raison de la reconnaissance de l'importance des eaux souterraines ainsi que ses caractéristiques intrinsèques, il ya eu un regain de travail consacré à l'élaboration de cadres distincts et intégrés du droit international sur les eaux souterraines.

Quatre parmi les points les plus importantes de la législation internationale de l'eau, avec chacun leurs aspects forts et faibles, sont inclus dans le tableau 4.3. Ces conventions sont conçues comme des lignes directrices et encouragent les États à élaborer des accords contraignants spécifiques (traités) entre les nations partageant des ressources en eau spécifiques et établir des arrangements organisationnels transfrontaliers et permanents pour leur gestion.

Puisque les aquifères et des bassins versants coïncident rarement (figure 4.3), l'organe le plus approprié pour superviser la gestion des Aquifères Transfrontaliers n'est pas nécessairement l'organisme de bassin spécifique à la rivière / lac (si existant). La coopération entre plusieurs organismes de bassin peut être nécessaire. De même, les organismes de bassin aquifère distincts peuvent être une solution pertinente là où il n'existe aucun organisme de bassin transfrontalier efficace s'occupant des eaux de surface.

¹ Le droit international de l'eau est un système de normes et de règles régissant les relations entre États souverains et joue un rôle important dans la gestion pacifique des ressources en eau transfrontalières.



Tableau 4.3. Quatre points les plus importants de la législation internationale de l'eau pour les eaux souterraines

	Focus sur les eaux souterraines ou les eaux de surface?	Portée régionale	En vigueur	Référence
Convention des Nations Unies sur le droit aux usages de non-navigation des cours d'eau internationaux	Eaux de surface, et eaux souterraines hydrauliquement reliées aux eaux de surface	Mondiale	Non ^a	Nations Unies (1997)
Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontaliers et des lacs internationaux	Les deux	Europe ^b	Oui (1996)	UNECE (1992)
Protocole révisé de la SADC sur des cours d'eau partagés	Eaux de surface, et eaux souterraines hydrauliquement reliées aux eaux de surface	Région SADC	Oui (2003)	SADC (2000)
Les projets d'articles de l'ONU sur les aquifères transfrontaliers	Les eaux souterraines	Mondiale	Non	Stephan (2009)

^a On a besoin d'un seul pays de plus qui la ratifie pour qu'elle puisse entrer en vigueur (selon info disponible jusqu'au 27 février 2014).

^b Entre en vigueur si les 33 Etats à l'origine signataires de la convention approuvent. Jusqu'à présent, 23 ont approuvé.

4.5 Les défis spécifiques et des cas de gestion de Aquifères Transfrontaliers en Afrique

La nécessité d'une gestion des eaux souterraines transfrontalières en Afrique est actuellement très accrue dans les régions semi-arides et arides où les ressources en eau de surface peuvent être limitées ou saisonnières ou inter-annuelle très variable ou située loin de populations importantes. Ce sont généralement aussi les régions où des réserves significatives d'eaux souterraines transfrontalières sont non ou peu renouvelables; ce qui augmente les défis d'une gestion durable des eaux partagées.

L'une des décisions les plus importantes que les comités de gestion conjointe ont à faire dans de telles conditions est de fixer le prélèvement annuel maximal autorisé de l'aquifère. C'est le cas dans beaucoup de pays de l'Afrique du Nord et en Afrique Australe. La gestion transfrontalière pourrait également être une préoccupation dans les zones où les eaux de surface sont en baisse ou affectées par la contamination, par exemple, le bassin du lac Tchad en Afrique de l'Ouest.

Des conflits significatifs sur les aquifères partagés ne sont pas apparus ou ne sont pas encore pleinement documentés en termes d'étendue et de causes sous-jacentes. L'étude sur l'«évaluation des besoins» (BGR / IWMI 2013) a identifié des prélèvements d'eau pour l'irrigation le long des cours d'eau internationaux (figure 4.2 type A et type B) dans certains des organismes de bassin interrogés (LIMCOM, OMVS); activité qui pourrait le plus produire des impacts transfrontaliers immédiats. Ces organismes se sont inquiétés des effets de l'exploitation de la nappe alluviale sur l'écoulement de l'eau de surface partagée, cependant aucun conflit n'a encore été signalé.



Compte tenu de ces besoins, de gros efforts ont été poursuivis dans les régions arides en termes de gestion des ressources en eaux souterraines partagées. À l'heure actuelle, des accords formels existent entre les pays partageant le système aquifère des Grès Nubiens (ANE, AFNE12), le Système Aquifère du Nord-Ouest du Sahara (AFNE16), tandis qu'un important travail est en cours dans l'aquifère du Lac Tchad (AFWC14) et dans les systèmes aquifères d'Iullemeden / Taudeni (AFWC20 15). Ces efforts sont généralement pris en charge par des organisations internationales (par exemple l'UNESCO, la FAO) et les institutions techniques spécialisés dans la caractérisation des eaux souterraines (par exemple, l'AIEA, l'IGRAC, BGR, et BRGM).

Les accords concernent la plupart du temps la mise en place de mécanismes de consultation pour coordonner, promouvoir et faciliter la gestion rationnelle des aquifères et la collecte, le partage et l'interprétation des données dans le cadre ce qui est convenu d'appeler les analyses diagnostiques transfrontalières. En Afrique l'aquifère transfrontalier qui a le niveau le plus avancé de gestion conjointe est le système aquifère des Grès Nubiens (ANE, AFNE12), qui dispose d'une Autorité Conjointe depuis 1989 pour l'étude et l'exploitation de l'aquifère, autorité qui a de très grandes responsabilités. Les États partageant l'aquifère (Egypte, Libye, Soudan, et le Tchad) et l'Autorité Conjointe se sont également mis d'accord sur un plan d'action stratégique en 2013 sur la vision commune et sur la coopération et la gestion de l'aquifère.



4.6 Références

Altchenko, Y. and K.G. Villholth, 2013.

Transboundary aquifer mapping and management in Africa: a harmonised approach.

Hydrogeol. J. 21(7), 1497-1517. DOI 10.1007/s10040-013-1002-3.

BGR and IWMI, 2013.

Needs Assessment to Support Groundwater Management in International Basin Organizations of Africa. Available at:

http://www.splash-era.net/downloads/groundwater/Needs_assessment_GW_final.pdf

Eckstein, G. and Y. Eckstein, 2003.

A hydrogeological approach to transboundary ground water resources and international law.

Am. Univ. Int. Law Review, 19, 201-258.

IGRAC (International Groundwater Resources Assessment Centre), 2012.

Transboundary aquifers of the world – update 2012. Special Edition for 6th World Water Forum, Marseille, France, March 2012

(Ed. Kukuric N) <http://www.un-igrac.org/publications/456#> , Accessed on 12 Nov. 2012.

INBO and GWP, 2012.

The Handbook of Integrated Water Resources Management in Transboundary Basins of Rivers, Lakes and Aquifers. International Network of Basin Organizations and Global Water Partnership.

ISBN : 978-91-85321-85-8.

SADC (Southern African Development Community), 2000.

Revised protocol on shared watercourses in the Southern African Development Community.

<http://www.sadc.int/files/>

[3413/6698/6218/Revised_Protocol_on_Shared_Watercourses_-_2000_-_English.pdf](http://www.sadc.int/files/3413/6698/6218/Revised_Protocol_on_Shared_Watercourses_-_2000_-_English.pdf).

Stephan R.M., 2009.

Transboundary Aquifers: Managing a Vital Resource, the UNILC Draft Articles on the Law of Transboundary Aquifers

UNESCO, SC-2008/WS/35. 24 pp.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 1992.

Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes.

<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf>.

United Nations, 1997.

Convention on the Law of Non-Navigational Uses of International Watercourses.

G.A. Res. 51/229, UN GAOR, 51st Sess., UN Doc. A/RES/51/229 (1997).

http://untreaty.un.org/ilc/texts/instruments/english/conventions/8_3_1997.pdf.



4.7 Exercice

Cet exercice donne un exemple de guide sur la manière dont les organismes de bassin transfrontaliers peuvent aborder la gestion des Aquifères Transfrontaliers dans un premier temps.

Étape 1.

Concernant votre pays, donner la liste d'aquifères ou de ressources en eaux souterraines où des questions transfrontalières potentielles ou apparentes se posent en termes d'exploitation, d'utilisation et de gestion.

Étape 2.

Catégoriser et classer les ressources en termes de problèmes ou de solutions possibles aux besoins humains et environnementaux.

Étape 3.

Comparez votre liste avec celles de pays voisins et identifier les domaines de priorité commune pour une gestion et coopération transfrontalière.

Étape 4.

Identifier les interventions techniques et de gestion qui pourraient être mieux traitées conjointement pour résoudre les problèmes identifiés aux étapes 1-3.

Étape 5.

Évaluer les interventions en fonction des avantages et des compromis pour les pays, par rapport à l'équité, la durabilité et l'efficacité.

Étape 6.

Indiquez là où la responsabilité institutionnelle se situe afin de mettre en œuvre les interventions de gestion proposées. Mettez en surbrillance en particulier le rôle / intervention qui peut être le mieux pris en charge par l'organisme de bassin transfrontalier.

MODULE



SUIVI DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ET GESTION DE L'INFORMATION





CONTENU

MODULE 5

Suivi des nappes d'eau souterraine et gestion de l'information

5.1	Introduction	4
5.2	Pratique de suivi et de contrôle	8
5.3	Le stockage des données et la gestion de l'information	13
5.4	Avantages et efficacité des coûts du suivi	16
5.5	Accès et échange de données nationales dans les OBT	17
5.6	Les données mondiales	18
5.7	Référence	19
5.8	Exercice	20

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa
(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: IWMI





SUIVI DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ET GESTION DE L'INFORMATION

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Pourquoi et comment surveiller les niveaux d'eau souterraine, les prélèvements et la qualité
Comprendre les différents objectifs du suivi
Comment concevoir et exploiter un système de surveillance ciblée et à moindre coût
Comment stocker et gérer des données et informations
Comment utiliser les données / information de suivi pour la gestion

5.1 Introduction

Surveillance des eaux souterraines: le point de départ de la gestion

La surveillance des eaux souterraines et l'acquisition de données sur les eaux souterraines sont des préalables pour toute gestion efficace des ressources en eaux souterraines, tant en termes de qualité et de disponibilité de la ressource elle-même. En raison de la complexité des systèmes d'eau souterraine, la conception et le fonctionnement d'un contrôle efficace des eaux souterraines est loin d'être simple. Les systèmes de surveillance bien conçus sont capables de fournir des informations vitales à un coût raisonnable sur l'aquifère.

Ce module aborde les différents buts et objectifs de la surveillance pour une gestion axée sur le postulat qu'un système de surveillance peut être conçu et exploité de manière efficace.

Le principe sous-jacent est que la surveillance des eaux souterraines doit toujours être axée sur la cible. Cela signifie que la question de gestion doit être définie d'abord et la surveillance doit être conçue en conséquence. De cette façon, le but de la surveillance et ses résultats sont d'autant mieux reconnus par les gestionnaires de l'eau, ainsi que les usagers de l'eau qui à la fin vont supporter le coût de la surveillance. Le suivi ne doit jamais devenir un but en soi.

Surveillance des eaux souterraines transfrontalières

La surveillance des eaux souterraines transfrontalières a un certain nombre de différences significatives par rapport aux systèmes et stratégies de contrôle interne. Ces différences sont dues à la nature elle-même de la ressource en eau souterraine, au mandat juridique et à la capacité institutionnelle des organismes de bassin transfrontalier (TBO).



Les impacts anthropiques sur les ressources en eau souterraine n'ont généralement pas de portée sur l'écoulement amont / aval, mais ils ont tendance à être plutôt localisés. Cet aspect est pertinent lorsqu'il s'agit de surveiller des eaux souterraines transfrontalières. En effet il est souvent question de suivre une ressource en eau souterraine fortement utilisée ou menacée d'un côté d'une frontière internationale. Il ya des exceptions, par exemple, une forte exploitation des aquifères alluviaux le long des rivières transfrontalières tend à avoir un impact significatif sur le débit de la rivière, réduisant ainsi l'écoulement vers les Etats riverains situés en aval.

Le mandat légal des Organismes de Bassin Transfrontalier (OBT) ne s'étend habituellement pas à la surveillance, ou encore au stockage des données. Il peut être limité à la visualisation, à l'enregistrement et l'évaluation des données de surveillance, et à la détermination des impacts transfrontaliers. Les OBT peuvent ne pas avoir la capacité institutionnelle de procéder à l'analyse des données de surveillance. Dans ces zones, les OBT auront généralement à s'appuyer sur des informations fournies par les institutions nationales de gestion de l'eau qui partagent la ressource en eau souterraine commune.

Le rôle des OBT peut être plus axé sur le rassemblement des données de surveillance des aquifères transfrontaliers provenant des Etats concernés et de fournir un plateau et un ensemble de lignes directrices pour l'intégration des systèmes de surveillance, mais aussi de négocier les résultats.

Le cycle de surveillance des eaux souterraines

L'approche de surveillance des eaux souterraines, axée sur la cible, se reflète également dans le cycle de surveillance qui comprend le processus complet de définition du problème, des objectifs de gestion, des besoins en information, l'acquisition de données, leur stockage, l'interprétation et la diffusion, donnant lieu à des informations précises pertinentes pour la compréhension de l'aquifère et pour des mesures de gestion qui en découlent (Figure 5.1).

L'essence de la surveillance comprend la conception du système de suivi, la collecte, le traitement et l'interprétation des données afin de répondre à une série de besoin d'informations bien définies, à des fins de gestion. Toutes les étapes du processus de surveillance doivent être soigneusement définies et conçues dans le but spécifique de la surveillance. Les spécialistes des eaux souterraines peuvent avoir tendance à mettre l'accent sur la collecte de données et leur interprétation, et peuvent donner moins d'attention à la diffusion des résultats à d'autres parties prenantes. Pourtant, le cycle de suivi n'est complet que si elle fournit les informations requises aux gestionnaires ou utilisateurs de l'eau pour prendre des mesures.

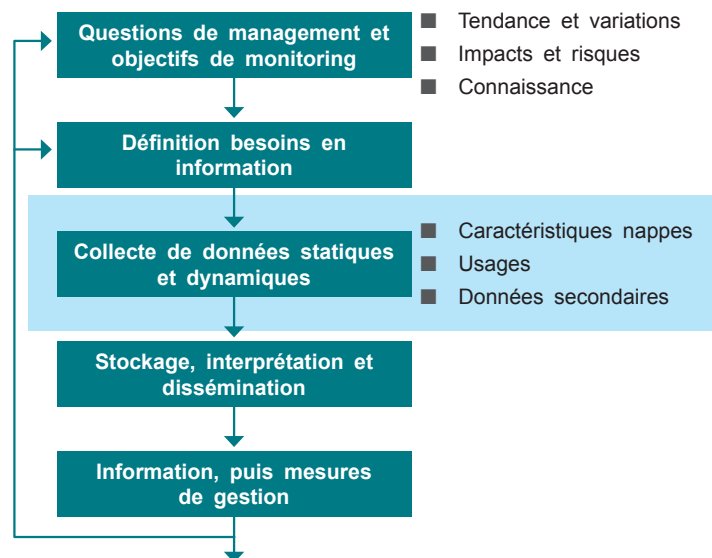


Figure 5.1: Cycle de suivi : informations > Données > Informations.

Objectifs de suivi : répondre aux besoins en information

Il ya quatre objectifs de base pour l'établissement d'un système de surveillance :

- **Suivi des ressources** pour améliorer la compréhension du système aquifère dans un bassin (recharge, décharge, interaction avec les eaux de surface, les changements dans la qualité et la quantité au fil du temps);
- **Surveillance de la conformité** pour obtenir des informations sur l'efficacité des mesures de gestion. Cela a deux dimensions principales :
 - Mesure de l'usage des eaux souterraines et la réponse de l'aquifère : recueillir les informations nécessaires pour les mesures de gestion liées à la quantité (restriction sur le nombre de puits, ainsi que les débits et l'espacement des forages ou la réglementation pour prévenir les niveaux d'eau des forages et champs de forages de descendre en dessous d'un certain seuil).
 - Mesure des paramètres de qualité des nappes d'eau souterraine captées pour vérifier le respect des teneurs maximales prescrites.
- **Suivi de la protection** des impacts potentiels sur les infrastructures spécifiques des eaux souterraines ou sur les eaux souterraines : des exemples typiques sont la protection des :
 - Champs de forages ou des sources d'approvisionnement en eau publique contre les risques d'épuisement et menaces sur la qualité;
 - Infrastructures urbaines contre les affaissements de terrain;
 - Sites archéologiques contre la hausse de niveau des nappes phréatiques;
 - Réserves stratégiques d'eau contre les risques d'épuisement ou de dégradation de la qualité;
 - Écosystèmes dépendants des eaux souterraines contre des changements indésirables en quantité et / ou qualité de l'eau.
- **Suivi du confinement de la pollution** pour fournir des informations d'alerte précoce sur les impacts des risques potentiels de pollution provenant de :
 - L'utilisation intensive des terres agricoles;
 - Sites industriels de secteurs spécifiques;
 - Sites d'enfouissement de déchets solides;
 - Zones de mise en valeur des terres;
 - Carrières et des mines.



Une formulation claire et nette des objectifs de surveillance est la première étape importante, car elle permet de (i) définir les acteurs qui sont impliqués (en amont et en aval) et (ii) d'interagir avec eux sur l'information requise qui devrait être fournie par le système de surveillance.

L'ensemble des exigences pour la conception d'un système de suivi et de contrôle peut combiner plusieurs des objectifs ci-dessus. Un exemple est montré dans la figure 5.2 où la comparaison entre les séries chronologiques des niveaux de précipitations et des eaux souterraines montre la relation pluie-recharge (surveillance des ressources) et aussi l'impact d'un forage profond de production sur la nappe d'eau souterraine peu profonde à proximité d'un piézomètre d'observation (6.11).

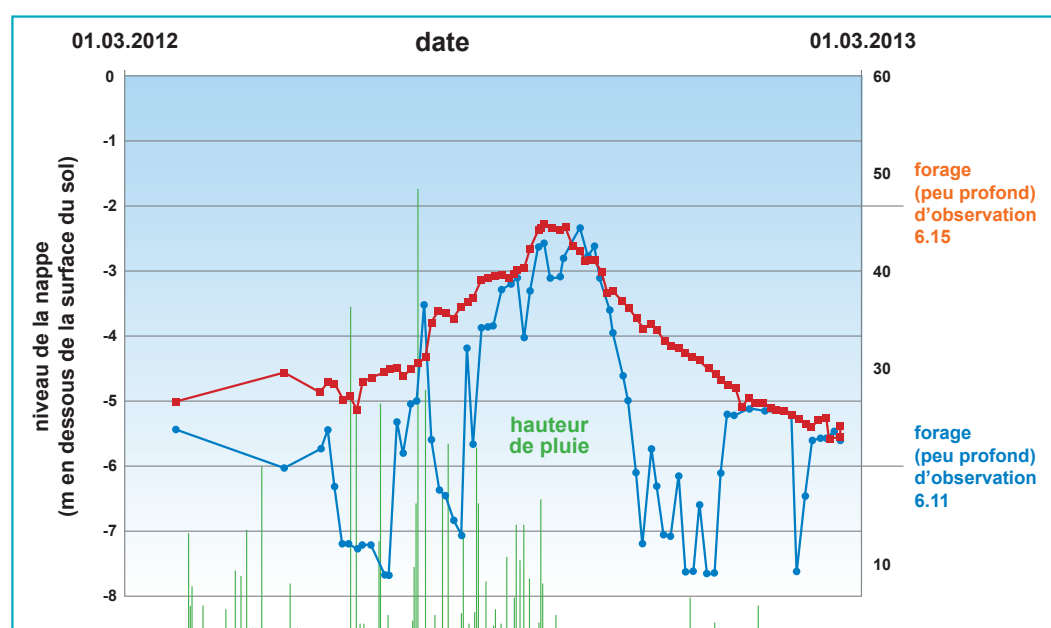


Figure 5.2: Les séries chronologiques du niveau des eaux souterraines (bleu et rouge) et les précipitations (vert clair). Les deux puits d'observation montrent un impact de l'événement de pluie en une journée. Les brusques variations des niveaux d'eau au puits d'observation 6.11 indiquent qu'il est affecté par une production à proximité, alors que le puits d'observation 6.15 ne révèle aucune influence.



5.2 Pratique de suivi et de contrôle

Collecte de données statiques et dynamiques

Tout réseau de suivi doit être conçu pour atteindre des objectifs spécifiques tels que déterminés par un certain nombre de questions de gestion en ce qui concerne un ou plusieurs aspects de la ressource en eau souterraine. Ceci détermine le type de données qui doivent être collectées et la localisation et la répartition des forages du réseau de surveillance. Le tableau 5.1 ci-dessous résume le type de données qui peuvent être nécessaires et établit une distinction entre les données statiques et dynamiques.

Tableau 5.1 Types de données nécessaires à la gestion des eaux souterraines

TYPE DE DONNÉES	DONNEES STATIQUES Aucune variation significative avec le temps (à partir d'archives)	DONNÉES DYNAMIQUES Variation dans le temps (à partir du terrain)
Présence des eaux souterraines et propriétés des aquifères	Registre de forages d'eau (logs hydrogéologiques, niveaux et qualité initiale des eaux souterraines) Pompages d'essai (tests de puits et de nappes)	Suivi du niveau des eaux souterraines Suivi de la qualité des eaux souterraines
Utilisation des eaux souterraines	Installations de pompes de forage d'eau Inventaires de l'utilisation de l'eau Registres et prévisions de la population Consommation d'énergie pour l'irrigation	Suivi des prélèvements d'eau des forages (direct ou indirect) Variations du niveau de la nappe au niveau du forage
Informations additionnelles	Données climatiques Inventaires de l'occupation des sols Cartes / coupes géologiques	Jaugeage du débit de la rivière Observations météorologiques Etude par satellite de l'occupation des sols

La première étape consiste à recueillir et examiner les données disponibles (statiques) dans les archives et les rapports, afin d'établir la situation de référence. Sur cette base, un réseau de points d'observation doit être configuré pour collecter des données dynamiques, si possible à partir de forages/puits de suivi ou dédié à l'observation (figure 5.3).

Pour la surveillance des eaux souterraines, des données telles que le niveau des eaux souterraines, la pression piézométrique et la qualité de l'eau doivent être collectées pour détecter les changements potentiels dans l'écoulement des eaux souterraines et la qualité. Une série de puits d'observation associée à une sélection de forages de production composent normalement un **réseau de suivi**, conçu pour :

- Détecter des changements dans la réserve de la nappe, le débit et la qualité
- Évaluer les risques spécifiques à l'aquifère;
- Évaluer la recharge et la décharge des aquifères



L'utilisation des puits abandonnés ou des forages de production existants pour le suivi, est un aspect rentable, mais dans le cas de l'utilisation de forages de production en activité, des précautions doivent être prises comme :

- Le niveau d'eau mesuré soit bien le niveau statique ;
- L'échantillon d'eau prélevé est représentatif et fiable.

Les autres données dynamiques qui peuvent être nécessaires sont l'utilisation de l'eau, les précipitations, le débit de la rivière, le changement démographique et les changements d'occupation des sols.



Figure 5.3 Un exemple d'ouvrage de suivi : un tubage crépiné de 1'' ou 2'' avec un tubage supérieur de 3 ou 4'' qui protège l'ouvrage des inondations et permet de visser un bouchon de protection approprié. Les piézomètres d'observation de 1'' sont faits pour les mesures de niveau de l'eau uniquement (avec une sonde d'eau ou un capteur). Ceux de 2'' permettent également l'échantillonnage de l'eau avec un tube de prélèvement.

Comment mesurer la réponse de l'aquifère aux prélèvements de l'eau souterraine?

En faisant le suivi des prélèvements et les changements de niveaux d'eau, l'effet du pompage de l'aquifère peut être évalué, ce qui fournit des informations clés pour la gestion des ressources en eau souterraine.

Les champs de forages sont généralement conçus sur la base d'une **réponse prévisionnelle acceptable de l'aquifère** pour un certain niveau de prélèvement. Cette information est normalement basée sur les résultats des essais de pompage de longue durée et/ou la modélisation numérique qui simule différents scénarios de prélèvements. La mise en place de champs de captage et les permis de prélever sont ensuite délivrés sur la base de ces prévisions.

Le débit et le sens d'écoulement de l'eau souterraine sont contrôlés par le gradient, ce qui peut être déterminé à partir des niveaux d'eau observés dans l'aquifère. Si la zone sur laquelle les changements de niveau d'eau ont lieu et les porosités de l'aquifère y sont connus, alors la recharge ou décharge volumétrique peuvent être calculées.

Le suivi de l'aquifère joue un rôle important dans ce contexte, car :



- Mesurer (et archiver) la situation de référence pour les nouveaux forages de production est important pour fournir des informations de base pour l'évaluation des changements futurs ;
- Les observations de niveau des eaux souterraines et des débits de pompage au cours d'opération de terrain, fournissent des informations pour vérifier la réaction prévisible de l'aquifère et, si nécessaire, prendre des mesures en temps opportun pour réduire les prélèvements (voir la figure 5.2) ;
- L'information recueillie peut également jouer un rôle clé dans l'augmentation de la sensibilisation des usagers de l'eau, et de faciliter ainsi la mise en place de mesures nécessaires de gestion de la demande en eau souterraine. Cela peut alors conduire à un suivi participatif.

ENCADRÉ 5.1: VOIR PAR EXEMPLE LA FIGURE 5.2

La situation dans la figure 5.2 correspond à l'exemple pratique suivant

3 forages de production ont été forés au cours des dernières années et les essais de pompage sur les nouveaux forages ont fourni des informations sur les caractéristiques de l'aquifère (transmissivité, perméabilité) et sur la performance des forages (débit spécifique).

Le débit spécifique est contrôlé annuellement par un essai de pompage de courte durée. Un changement dans le débit spécifique au fil des années, signifie que (i) le rendement du forage diminue, par ex. en raison du colmatage ou (ii) que les conditions de l'aquifère ont changé par ex. en raison de sur-pompage.

- Les niveaux d'eau souterraine dans les forages d'observation en combinaison avec les données pluviométriques montrent que (i) la recharge annuelle est beaucoup plus élevée que les prélèvements combinés des forages de production et des puits peu profonds et (ii) que les forages de production affectent la nappe phréatique seulement dans un rayon de 200-250 mètres autour des forages.

Cette information a été utilisée pour informer les utilisateurs des puits peu profonds et s'accorder avec eux sur un plan de gestion commun pour le captage des eaux souterraines de l'aquifère.

Quelles sont les questions clés dans le suivi des fluctuations et des tendances du niveau des eaux souterraines?

Les réseaux de suivi des eaux souterraines doivent être conçus par des spécialistes sur la base des exigences de gestion, et avec un accent particulier sur la surveillance dans les zones de réalimentation et de décharge. Déterminer l'étendue des zones de recharge peut être complexe, car elles sont généralement de vastes zones diffuses avec différentes lithologies, sols et occupation des sols. Les zones de décharge ont tendance à être plus localisée et sont souvent marquées par les zones humides, les zones d'infiltration, le débit de base ou des sources.

Les mesures du niveau des eaux souterraines peuvent être faites automatiquement ou manuellement, soit dans les forages d'observation ou de production, et doivent



toujours être soumises à des contrôles de qualité. Les changements de niveau des eaux souterraines observés grâce à la surveillance peuvent avoir des causes très différentes et doivent être soigneusement évalués pour déterminer l'action correcte nécessaire.

Comment surveiller l'utilisation des eaux souterraines?

Le suivi direct des prélèvements de la nappe par des compteurs d'eau est précis mais coûteux, puisque tous les points de pompage doivent être équipés de compteurs; cela exige la pleine coopération des usagers de l'eau, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser.

Le contrôle indirect de captage des eaux souterraines est toujours moins précis, mais au moins une estimation est obtenue. Un suivi indirect peut être effectué par :

- La collecte de données indicatives, par exemple l'usage des eaux souterraines par l'irrigation peut être estimé indirectement en utilisant des heures de fonctionnement de la pompe (à partir de la consommation d'énergie) multipliées par le débit moyen de pompage
- L'utilisation de la télédétection : les satellites ou les capteurs aéroportés peuvent fournir des mesures objectives potentiellement à grandes échelles, avec la couverture quasi-continue, à faible coût par km². Les informations sur la superficie des terres irriguées, ou l'évaporation réelle journalière et cumulative peut être estimée. Ces techniques sont en pleine expansion tout le temps, avec différents capteurs et approches.
- Les estimations des changements dans le prélèvement régional des eaux souterraines pour l'approvisionnement domestique peuvent également être obtenues par l'information sur les changements démographiques et des contrôles aléatoires sur l'utilisation de l'eau par habitant.

Les approches ci-dessus se réfèrent principalement à des eaux souterraines dans les zones rurales, où l'usage pour l'irrigation est le plus grand consommateur. L'utilisation intensive des eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau domestique se rencontre aussi dans les villes à croissance rapide, où la fourniture des services d'eau est insuffisante. C'est le cas dans de nombreuses villes d'Afrique, et a conduit à un captage massif des eaux souterraines, par des privés. Le suivi de cet usage de l'eau peut être fait en utilisant des données démographiques en combinaison avec des images satellitaires montrant l'expansion urbaine et l'estimation de la consommation d'eau par ménage à travers des échantillons (ex. par des enquêtes aléatoires).

Comment surveiller la qualité des eaux souterraines?

Pour le suivi de la qualité des eaux souterraines, un intérêt particulier est généralement sur le service public d'AEP à partir de forages d'eau et des sources, au moyen de systèmes de distribution par canalisations. Deux composants principaux sont l'échantillonnage de l'eau et l'analyse chimique en laboratoire. L'échantillonnage de l'eau des forages est essentiel, car elle peut provoquer une modification majeure de l'échantillon, comme l'entrée d'air, le dégazage et les pertes volatiles, des procédures d'échantillonnage appropriées sont nécessaires (tableau 5.2). La mesure in situ de la CE, du pH et la température sont nécessaires pour valider l'état de l'échantillon lors de l'analyse en laboratoire.



Une analyse «complète» de la qualité de l'eau est d'abord nécessaire (idéalement), suivie d'une analyse plus limitée de paramètres soigneusement sélectionnés avec des contrôles périodiques sur d'autres paramètres importants qui sont plus complexes ou coûteux à analyser. Toutefois, ce type de suivi ne correspond pas normalement à l'état des eaux souterraines in situ, ce qui est essentiel pour les programmes de surveillance de l'aquifère qui doivent définir la distribution des eaux souterraines de qualité inférieure, sa variation dans le temps et sa réponse aux mesures d'atténuation de gestion.

Le processus de pompage des forages et la manipulation des échantillons peut fournir un échantillon mixte avec de l'eau souterraine obtenue à partir de toutes les couches de l'aquifère recoupées par le forage. La profondeur spécifique d'échantillonnage peut être utilisée pour échantillonner des couches / profondeurs spécifiques; cela est nécessaire pour déterminer les différentes qualités de l'eau (et la charge) dans les diverses unités des systèmes aquifères superposées.

Tableau 5.2 Résumé des procédures d'échantillonnage et précautions pour des groupes spécifiques de paramètres de qualité.

GROUPE A DETERMINER	PROCEDURE D'ECHANTILLONNAGE	MATERIAUX PREFERES	TEMPS / TEMPERATURE DE CONSERVATION	DIFFICULTE / COUT OPERATIONNEL
Ions majeurs Cl, SO ₄ , F, Na, K	0.45 µm filtre seulement pas d'acidification	N'importe lequel	7 jours/4°C	Minimale
Métaux en traces Fe, Mn, As, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, etc	0.45 µm filtre, fermeture hermétique acidifie (pH <2) éviter l'aération par remplissage / pas d'espace dans flacon	Plastique	150 jours	Modérée
Especies avec N NO ₃ , NH ₄ (NO ₂)	0.45 µm filtre, fermé	N'importe lequel	1 jour/4°C	Modérée/ bas
Microbiologique TC, FC, FS	conditions stériles échantillon non filtré analyse sur site de préférence	Verre sombre	6 heures/4°C	Modérée/ bas
Equilibre carbonate pH, HCO ₃ , Ca, Mg	échantillon bien scellé ,non filtré analyse sur site (pH, HCO ₃) (Ca/Mg dans le laboratoire de base sur l'échantillon acidifié)	N'importe lequel	1 heure (150 jours)	Modérée
Etat de l'Oxygène pE(EH), DO, T	sur le site dans la cellule de mesure éviter l'aération non filtré	N'importe lequel	0.1 heure	Elevée / Modéré
Biologiques TOC, VOC, HC, CIHC, etc	échantillon non filtré éviter la volatilisation (Absorption directe dans des cartouches préférées)	Verre sombre ou teflon	1-7 jours (indefini pour les cartouches)	Elevée

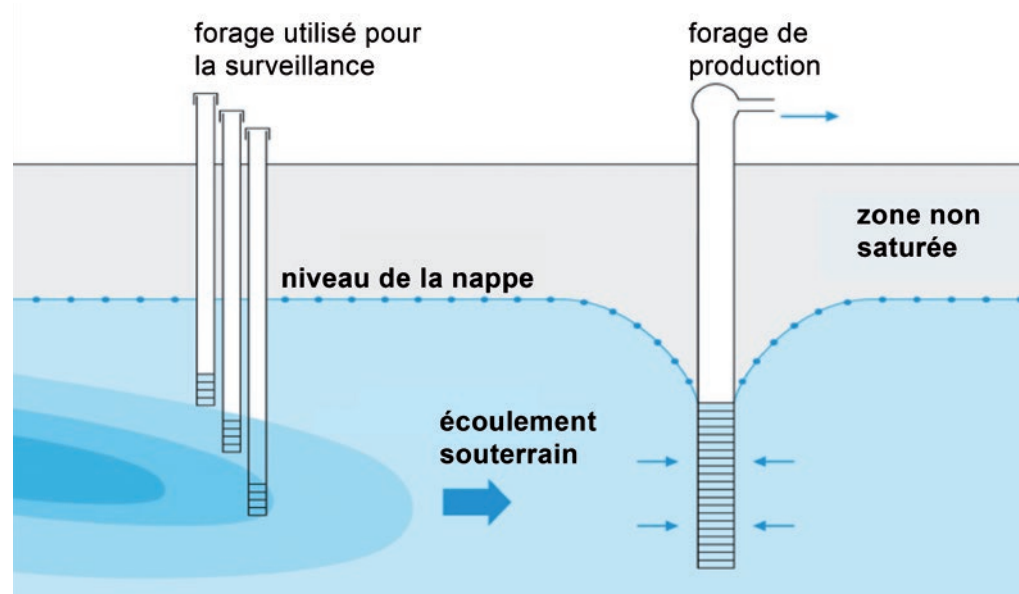
Dans de nombreux cas, la condition essentielle est d'obtenir une alerte précoce des problèmes de qualité potentiels qui pourraient menacer la source d'eau souterraine et le système aquifère. En Afrique, la plupart des problèmes de qualité des eaux souterraines sont liés à :

- à la baisse de la qualité des nappes en milieu urbain, en raison de la construction inadéquate des latrines / fosses septiques et les rejets d'effluents non contrôlés de l'industrie ;



- à la salinisation des eaux souterraines par des méthodes d'irrigation inappropriées ;
- l'intrusion d'eau salée, en raison de l'abaissement de la nappe phréatique par des forages d'approvisionnement en eau situés près de / le long de la côte.

Pour obtenir des informations en temps opportun, une compréhension de base de la nature du problème et un modèle conceptuel de la trajectoire d'écoulement de la pollution est nécessaire. Des forages d'observation doivent être conçus et bien situés pour obtenir des informations à temps sur les changements dans la qualité de l'eau, et de fournir suffisamment de temps pour prendre des mesures d'atténuation. La figure 5.4 montre un exemple typique de suivi défensif de la qualité de l'eau, sur la base d'une connaissance préalable de la trajectoire d'écoulement de l'eau souterraine et l'origine de la menace.



Quels sont les cas typiques dans votre bassin où le suivi de la qualité de l'ES est nécessaire

Figure 5.4: Représentation schématique du suivi de la qualité de l'eau souterraine pour des objectifs spécifiques de gestion

5.3 Le stockage des données et la gestion de l'information

Le stockage et le traitement de l'information

Les données de suivi sont stockées dans une base de données et traitées pour fournir les informations désirées. Ainsi, il est nécessaire de décider du niveau de traitement et le contrôle de la qualité requise pour produire l'information désirée, et aussi pour définir les modes de traitement à utiliser. Une discussion détaillée sur le type de traitement et des méthodes de traitement pour les différents objectifs dépasse le cadre de ce cours. Pour une lecture plus poussée, référence est faite à "Guideline on Groundwater Monitoring for General Reference Purposes (IGRAC) et the Groundwater Monitoring Guidance Manual (Commonwealth of Pennsylvania, Department of Environmental Protection, 2001)"

Un élément important d'une base de données de suivi est le contrôle de la qualité des données. Une fois les données erronées sont entrées dans le système, il sera difficile



à corriger à un stade ultérieur et peut conduire à des informations erronées ou trompeuses. Le slogan est ici qu'il vaut mieux prévenir que guérir. Certaines lignes directrices clés pour un système de contrôle de la qualité (CQ) et d'assurance de la qualité du (AQ) sont :

- Former l'observateur : contrôles croisés sur le terrain, garder les yeux ouverts ;
- Directives : suivre les procédures (par ex. pour l'échantillonnage) ;
- Conserver une copie des relevés de terrain ;
- AQ sur l'analyse chimique ;
- Procédures CQ pour la saisie des données dans la base de données ;
- Contrôle qualité du traitement des données.

Partage et diffusion de l'information

Il est nécessaire de décider des informations à partager, comment diffuser l'information et sous quelle forme, pour appuyer la prise de décisions et informer les parties intéressées. Le choix des méthodes dépendra des ressources disponibles et du public cible. L'OBT devra décider des méthodes de transmission de ces informations pour les utilisateurs et les gestionnaires en fonction des objectifs fixés et aussi comment répondre aux requêtes sur les informations publiées. Le Tableau 5.3 donne des exemples de différents publics et de leurs besoins d'information correspondants, ainsi que les méthodes et canaux de disséminations appropriés.

Toutes les parties prenantes devraient être en mesure d'accéder à un rapport annuel sur l'état des ressources en eau dans le bassin. Elles pourraient aussi avoir besoin d'avoir accès à un système pour faire des réclamations ou des requêtes sur la gestion de l'eau et l'allocation de l'eau dans le bassin versant. Cela peut prendre la forme de formulaires de plainte ou requête, sous format papier ou électronique sur Internet.

Tableau 5.3: Exemples d'information produite pour les différentes parties prenantes

Public cible	Informations nécessaires pour diffusion	Méthodes / canaux de diffusion
Les gestionnaires de l'eau	Quantité et qualité des eaux souterraines disponibles pour l'allocation; Liste des utilisateurs des eaux souterraines et des titulaires de permis Liste de non-respect par les utilisateurs titulaires de permis de l'eau et les mesures prises Liste des plaintes par les utilisateurs des eaux souterraines / mesures prises Localisation et production des champs de forages / forages	Base de données partagée (par exemple intranet ou CMS)
La société civile, y compris les médias et les ONG	Les tendances générales de l'utilisation et la qualité de l'eau	Nouvelles fonctionnalités sur un site Web
Usagers de l'eau, incluant ceux qui font des rejets de déchets dans l'eau	Décisions d'allocation de l'eau Les habitudes de consommation de tous les utilisateurs Revenu obtenu des permis et comment il est utilisé	Rapports d'étape réguliers, comme un dépliant / bulletin
Les parties prenantes politiques, tels que les représentants du gouvernement	Informations résumée sur l'état de la gestion et de l'allocation de l'eau de la nappe	Rapport semestriel ou annuel



Il faut noter que, pour les OBT, les parties prenantes ont tendance à être les autorités nationales de l'eau des pays riverains et des organisations multi-étatiques telles que la SADC en Afrique australe. Il est rare d'avoir la situation où les OBT sont légalement responsables devant les utilisateurs finaux de l'eau pour la diminution de la qualité de l'eau ou du niveau d'eau. Néanmoins les OBT peuvent jouer un rôle important dans la diffusion de l'information au grand public, et dans la promotion de stratégies appropriées de gestion de l'eau, dans les cas où la surveillance révèle des impacts transfrontaliers significatifs.

Types d'information et caractéristiques.

Il existe une large gamme de types d'information qui peuvent être sélectionnées et utilisées à des fins différentes. (voir le tableau 5.4 ci-dessous).

Tableau 5.4: types d'information et leurs caractéristiques

Type d'information	Caractéristiques
1. Informations statiques	Les informations statiques ne changent pas avec le temps. Elles sont typiquement des informations utilisées pour identifier un objet et les caractéristiques relativement invariables dans le temps de l'objet, comme la géologie, le type d'aquifère, les propriétés de l'aquifère, etc.
2. Informations dynamiques	L'information dynamique varie avec le temps, par exemple données de prélèvement, les données de qualité de l'eau, les niveaux d'eau et le débit de base, le taux de recharge, etc.
3. Données brutes	Les données brutes sont les informations enregistrées par les appareils de mesure ou provenant d'une étude.
4. Informations traitées	Les informations traitées sont des informations qui répondent à un besoin défini et sont traitées à partir des données brutes.
5. Information de type rapport	Information de type rapport est une combinaison de texte, de figures et tableaux, organisés au sein d'un ensemble de texte narratif.
6. Informations de type spatial	Information de type spatial est l'information stockée sous forme de cartes qui sont géo-référencée.

Exemples de certains outils de gestion de l'information

Les progrès rapides de l'information et de la communication ont permis un certain nombre de nouveaux outils de gestion de l'information qui peuvent être développés et aider ainsi les Organismes de Bassin (Transfrontaliers) dans leurs tâches de gestion de l'information. Ceux-ci permettent une meilleure génération de l'information, le traitement et la diffusion que par le passé.

- *Des systèmes dédiés* au traitement de données et des bases de données peuvent être développées pour traiter des données brutes pour stockage dans des bases de données. Les systèmes sont normalement élaborés en fonction des besoins d'information spécifiques des utilisateurs et suivent un ensemble très clair de procédures de traitement de l'information.
- *Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)* utilisent la puissance d'un ordinateur pour afficher et analyser les données spatiales qui sont liées aux bases de données. Lorsqu'une base de données spécifique est mise à jour, la carte associée sera mise à jour. Ainsi, en mettant continuellement à jour les données capturées à partir de la surveillance, des cartes mises à jour sont disponibles pour les parties prenantes. Les Bases de données SIG peuvent inclure une grande variété d'informations telles que la population, les infrastructures, les sites de forage, des poches de pollution etc.



- Le programme «*Google Earth*» combine la puissance du moteur de recherche Google avec des images satellitaires, des cartes, du terrain et des bâtiments en 3D et met à la disposition une vue à vol d'oiseau de l'information géographique dans le monde pour tout domaine d'intérêt. La plupart de l'imagerie par satellite utilisé est de un à trois ans.
- Le *Système de Gestion de Contenu (CMS)* utilise le standard Internet de la présentation des pages web liées pour organiser et présenter l'information de type rapport. Il existe plusieurs types de CMS disponibles, dont beaucoup sont gratuits. Le rapport de type information est le type le plus couramment utilisé par les parties prenantes dans la prise de décisions. Par conséquent, l'utilisation d'un CMS pour stocker et publier des informations de type rapport par voie électronique, soit sur Internet ou dans la forme d'un CD / DVD, permettra à un OB(T) de diffuser et de partager des informations de manière efficace. Le CMS a également l'avantage de permettre un dépôt central d'information pour les données et informations qui sont postées par des personnes différentes.

Plan de Gestion de l'Information

La réalité des ressources humaines et des contraintes financières limitera la capacité d'un OB pour collecter, analyser, interpréter, utiliser et partager l'information. Ainsi, l'OB doit prioriser la collecte et le traitement de l'information pour obtenir les produits de l'information nécessaires afin de résoudre les problèmes urgents de la GIRE dans un bassin hydrographique. De même que les informations sur l'eau de surface, les exigences d'information de gestion des eaux souterraines doivent être hiérarchisées et intégrées dans le Plan de Gestion de l'Information du bassin dans son entier; celui-ci doit répondre aux besoins immédiats du bassin dans le cadre de la GIRE, et peut être mis en œuvre dans les limites des ressources de l'OB. L'exercice systématique ci-dessus peut également aider l'OB à définir les besoins de développement des capacités de gestion de l'information, ainsi que les domaines où des investissements dans les systèmes et améliorations techniques peuvent être faits.

La gestion de l'information est communément définie comme «la collecte et la gestion de l'information d'un ou de plusieurs sources et la distribution de l'information à une ou plusieurs audiences». Pour faciliter l'organisation et la classification des informations, il sera utile de savoir ce que sont les types d'informations génériques et leurs caractéristiques. Il est également utile pour l'Unité de Gestion de l'Information (UGI) d'être exposés à la gamme d'outils de gestion de l'information possibles qui s'offrent à eux. L'UGI doit alors travailler avec des spécialistes de la technologie de l'information et de la communication (TIC) dans le développement et la personnalisation de ces outils pour soutenir ses opérations.

5.4 Avantages et efficacité des coûts du suivi

Avantages du suivi

Le suivi est considéré comme cher, car le retour sur investissement n'est généralement pas visible à court terme. Pourtant, le suivi fournit des informations importantes pour une gestion durable qui empêche des dommages irréversibles et les coûts associés (voir le module 8 : Dangers liés aux eaux souterraines).



- Le suivi assure l'efficacité des mesures de gestion, et donc permet d'éviter les coûts d'atténuation. Un exemple est l'impact de prélèvement excessif des forages profonds destinés à l'irrigation, sur des puits peu profonds qui sont généralement détenus par les petits agriculteurs, qui peuvent alors être confrontés à la nécessité de forer de nouveaux puits plus profonds.
- Le suivi fournit un revenu à l'organisme en charge de la réglementation, car il fournit la preuve des frais et des pénalités qui sont incluses dans les règlements, tels que les tarifs progressifs pour des prélèvements d'eau souterraine et des sanctions en vertu du principe pollueur-payeur.

La quantification de ces impacts en termes monétaires fournit l'occasion de faire une analyse coûts-avantages (ACA) pour la mise en place d'un système de surveillance et de montrer que l'investissement d'aujourd'hui permettra des retombées significatives dans le moyen et long terme.

Efficacité

Le rapport coût-efficacité du suivi des eaux souterraines peut être amélioré, par une attention particulière à la conception du réseau, la mise en œuvre du système et l'interprétation des données. Les données recueillies par activités de suivi passées, devraient être utilisées et on ne doit pas les éliminer. Si possible, les points de suivi doivent être facilement accessibles. Lorsque cela est possible, l'utilisation des indicateurs déterminants peut réduire les coûts d'analyse de manière significative. La précision des opérations de suivi, aussi bien pour les paramètres physiques, que chimiques doit être assurée en intégrant les procédures de contrôle de qualité. L'auto-contrôle complémentaire chez les usagers de l'eau, permet de réduire les coûts, et a l'avantage d'accroître la sensibilisation et la participation à la gestion des eaux souterraines par les parties prenantes.

Les mesures pour l'efficacité des coûts peuvent inclure :

- Le suivi par objectifs et la définition des besoins clairs d'information ;
- Inclure une analyse coûts-avantages dans la conception du projet ;
- Utilisation des données déjà collectées dans d'autres programmes ;
- L'utilisation de puits/forages existants (puits/forages de captage et puits/forages abandonnés) comme des puits d'observation ;
- L'utilisation d'indicateurs: le niveau d'eau / température / conductivité électrique (CE) ;
- Promouvoir l'auto-contrôle et l'auto-régulation par les usagers de l'eau ;
- Système de CQ et d'AQ efficace avec un accent sur la prévention.

5.5 Accès et échange de données nationales dans les OBT

Selon le «Guide des bonnes pratiques - Optimisation de la surveillance», la plupart des données et des informations sur les aquifères transfrontaliers sont produites sous l'impulsion de politiques et pratiques de gestion nationales et locales. Le principal défi pour l'organisme international de bassin transfrontalier est que les données de base sont souvent «dispersées, hétérogènes, incomplètes et rarement comparables ou adaptées aux besoins». En outre, les autorités nationales peuvent également être ré-



ticentes à fournir aux pays voisins, des informations considérées comme stratégiques. L'organisme de bassin transfrontalier fournit le cadre approprié pour la gestion des données relatives au bassin, qui est souvent l'un des piliers de son mandat.

La gestion des ressources en eau dans les bassins transfrontaliers nécessite une organisation de la production de données et de partage de l'information pour différentes planifications, le suivi, l'évaluation et les activités d'alerte précoce. Dans de nombreux cas, la production des données nécessaires à la gestion de la ressource est insuffisante. En outre, le partage des données et des informations concernant un bassin transfrontalier est souvent difficile pour des raisons relationnelles, techniques et structurelles. Les Organismes de bassin transfrontalier sont confrontés à deux défis majeurs :

- 1- Initier le développement durable des capacités pour les pays membres, pour produire les données nécessaires à la gestion des ressources en eau, en tenant compte des coûts de production qui peuvent être élevés;
- 2- Développer des procédures, des outils et des méthodes pour améliorer la valeur des données existantes afin de répondre aux attentes d'information du public et des décideurs.

Par conséquent, pour remplir la tâche de gestion de données dans l'ensemble du bassin, l'OBT doit répondre à des conditions législatives et institutionnelles appropriées. Une première étape consiste toujours à évaluer les sources de données existantes, les projets en cours et les parties prenantes dans la production et le contrôle des données. Ensuite, l'OBT doit élaborer des règles communes en matière de partage de données.

Tout partage de données et d'informations est utile uniquement si les données sont comparables et homogènes. Il est donc nécessaire de vérifier la comparabilité des données et peut-être de clarifier les concepts, les définitions, les systèmes de codage, les unités et les méthodes de calcul communes à utiliser lors de l'échange d'informations. Enfin, un programme de renforcement des capacités est nécessaire pour qualifier les ressources humaines dans l'exploitation d'un système d'information du bassin.

5.6 Les données mondiales

Les données mondiales pourraient fournir des informations précieuses pour la gestion des ressources en eau. En 1999, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a adopté une résolution pour l'échange de données et de produits hydrologiques afin d'élargir et d'améliorer, autant que possible, l'échange international libre et gratuit des données, en accord avec les besoins de la communauté hydrologique mondiale et des exigences pour les programmes scientifiques et techniques de l'OMM. L'échange de données au niveau régional est renforcée par le programme WHYCOS et à l'échelle mondiale, l'OMM a établi une série de centres de données :



- Le Centre mondial de données de ruissellement (GRDC) créé en 1988, est soutenu par, et situé dans l'Institut Fédéral d'Hydrologie de Coblenz, Allemagne.
- Le Centre Mondial de Climatologie des Précipitations (GPCC) situé au Service Météorologique Allemand à Offenbach.
- Le Centre International d'Evaluation des Ressources en Eaux Souterraines (IGRAC), mis en place conjointement avec l'UNESCO en 2003, est le centre des eaux souterraines de l'UNESCO, à Delft, Pays-Bas.
- Le Centre International de Données sur l'Hydrologie des Lacs et Réservoirs créé en 2007 et hébergé par l'Institut National d'Hydrologie, Roshydromet à Saint-Petersbourg, Fédération de Russie.
- Le Réseau Mondial Terrestre - Hydrologie (GTN-H) a été créé en 2001 comme un «réseau des réseaux» pour soutenir une série d'objectifs climatiques et sur les ressources en eau, en s'appuyant sur les réseaux existants et les centres de données, la production de produits à valeur ajoutée grâce à l'amélioration des communications et le développement partagé. Son objectif est de rendre les données disponibles à partir de réseaux d'observations hydrologiques mondiales existantes et à en accroître leur valeur à travers l'intégration.

Réseau Mondial de Suivi des Eaux Souterraines (GGMN)

Le Réseau Mondial de Suivi des Eaux Souterraines, coordonné par l'IGRAC, facilite **l'évaluation périodique des changements dans la quantité et la qualité des eaux souterraines** par l'agrégation des données et des informations provenant des réseaux de surveillance des eaux souterraines et les connaissances hydrogéologiques régionales. Le GGMN est un processus participatif qui repose sur les contributions des réseaux d'experts en eau souterraine. **L'application de GGMN sur le Web** permet aux utilisateurs de produire périodiquement des cartes en ligne montrant le changement de l'eau souterraine dans le temps à l'échelle régionale. La simplicité de l'application et la propriété claires des informations (les données restent avec le fournisseur) sont garanties pour assurer le soutien essentiel et l'engagement de la communauté mondiale de l'eau souterraine pour le programme de GGMN.

5.7 Référence

IOH (2012):

Guide of good practices - Optimization of monitoring, Coordination of the activities of basin organizations



Suivi des nappes d'eau souterraine
et gestion de l'information

5.8 Exercice

3 Groupes

- 1 Suivi d'un système dunaire d'infiltration pour protéger un champ de captage d'eau potable contre l'intrusion marine
 - 2 Le plan de surveillance pour un site industriel pour empêcher la propagation de contaminants possibles vers les eaux souterraines
 - 3 Système de suivi de tendance dans un aquifère sédimentaire peu profond dans un bassin versant de rivière
-
- Définir les objectifs de suivi et les paramètres de conception de base
 - Quels sont les principaux avantages et qui sont les principaux bénéficiaires du suivi
 - Suggestions pour avoir un coût moindre du plan de surveillance
 - Comment assurer un financement durable?
 - Qui mettra en œuvre le suivi et la façon dont l'information est traitée pour répondre aux objectifs de gestion

MODULE



LA RÉGLEMENTATION DES EAUX SOUTERRAINES, LES PERMIS, L'ALLOCATION ET LES INSTITUTIONS





CONTENU

MODULE 6

La réglementation des eaux souterraines, les permis, l'allocation et le cadre institutionnel

6.1	Introduction	4
6.2	Règlementation des eaux souterraines dans le cadre d'un bassin versant	4
6.3	Le système de permis dans la gestion des eaux souterraines	7
6.4	Allocation des eaux souterraines	11
6.5	Principales interactions dans le système d'allocation et d'octroi de licences d'eau souterraine	15
6.6	Allocation des ressources en eau souterraine non renouvelables	17
6.7	Cadre institutionnel pour la gestion des eaux souterraines	17
6.8	Mise en œuvre d'un système de réglementation des eaux souterraines	19
6.9	Références et autres lectures	22
6.10	Exercices	23

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa

(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: IWMI





LA RÉGLEMENTATION DES EAUX SOUTERRAINES, LES PERMIS, L'ALLOCATION ET LES INSTITUTIONS

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES :

Apprécier la nécessité d'une régulation des eaux souterraines dans le cadre des organismes de bassin ;
Sensibiliser la population aux avantages d'un système d'octroi de permis et d'allocation des eaux souterraines ;
Comprendre comment les systèmes d'octroi de permis et d'allocation des ressources en eau souterraine peuvent être mises en œuvre et ;
Examiner les dispositions institutionnelles pour la gestion des eaux souterraines.

6.1 Introduction

La réglementation des eaux souterraines est nécessaire pour contrôler l'exploitation des nappes et les activités qui pourraient compromettre la disponibilité et la qualité des eaux souterraines, pour faire face à une concurrence croissante et des conflits entre les utilisateurs d'eau souterraine, et pour contrôler la menace croissante de la pollution des nappes. La réglementation de l'eau est une stratégie importante de gestion des eaux souterraines qui est mise en œuvre à travers le développement et la mise en place d'un système de permis/autorisation et d'allocation de l'eau. La réglementation des eaux souterraines comprend des dispositions relatives à la délivrance des droits d'eau ou de permis d'eau avec des conditions d'accompagnement pour toute activité qui peut influencer sur la quantité et la qualité des nappes. N'importe quelle personne, bénéficiant d'un droit ou d'un permis, doit donc veiller à ce que l'exploitation des eaux souterraines ou d'autres activités, qu'elle entreprend et qui pourraient compromettre la disponibilité des eaux souterraines, est conforme aux conditions de l'autorisation; autrement la personne fautive est punie. Ces normes sont définies et appliquées par les agences en charge de la réglementation des eaux souterraines.

6.2 Règlementation des eaux souterraines dans le cadre d'un bassin versant

Aperçu

Il est de plus en plus reconnu que l'eau souterraine et l'eau de surface ont un impact l'une sur l'autre, et qu'une plus grande intégration de leur gestion est essentielle. Cependant, bien que l'eau souterraine soit reconnue comme étant étroitement liée à l'eau de surface, la gestion intégrée des deux dans le cadre de la gestion du bassin versant n'a pas encore été pleinement réalisée en Afrique. Cette lacune peut être partiellement résolue par la réglementation sur les eaux souterraines qui fournit des mécanismes pour la gestion durable des ressources en eau souterraine et de surface par le biais de :

- Directives et des restrictions exercées par des pouvoirs publics ;
- Dispositions pour la quantification, la planification, l'allocation et la conservation des ressources en eau souterraine, y compris les prélèvements d'eau et les droits d'usage ;



- Système d'autorisation de rejet des eaux usées, en aidant à protéger les nappes contre la pollution ;
- Définition des droits et devoirs des utilisateurs des eaux souterraines ;
- Protection des droits des utilisateurs, des droits des tiers et de l'environnement ;
- Conditions pour l'enregistrement des foreurs sur la base de la qualification et de l'expérience ;
- Intervention administrative possible dans des situations critiques (baisse des nappes, sécheresse ou pollution) ;
- Disposition pour l'interaction coopérative entre les administrateurs des eaux souterraines et les utilisateurs d'eau souterraine.

Processus de réglementation des eaux souterraines

Beaucoup de pays en Afrique exigent maintenant des permis ou autorisations pour l'exploitation des eaux souterraines, pour les rejets d'eaux usées, ainsi que les activités de construction de forages. L'aménagement des bassins versants, la planification des ressources de l'aquifère et le zonage des sols, sont alors tous soumis aux exigences stipulées dans les permis pour la conservation et la protection des eaux souterraines. Tout établissement qui est impliqué dans l'exploitation des eaux souterraines et dans des activités qui pourraient compromettre la disponibilité et la qualité des nappes, doit obtenir un permis ou une autorisation afin de ne pas contrevenir à la loi. Le permis est délivré, sur demande, par l'organisme de réglementation qui prend en compte les conditions du système des eaux souterraines, mais aussi l'intensité et la nature des prélèvements d'eau proposés et de l'activité.

Une réglementation moderne des eaux souterraines tend à être flexible, adéquate et applicable par les actions suivantes :

a) Réglementation des prélèvements des eaux souterraines et l'émission de droits ou de permis d'usage de l'eau

La réglementation des prélèvements d'eau souterraine, par la délivrance de permis d'exploitation / usage des nappes, sert de base pour faire payer les redevances de prélèvement. Dans de nombreux pays en Afrique, un tarif forfaitaire est appliqué pour tout prélèvement motorisé d'eau souterraine; ce n'est que dans peu de pays où le paiement est basé sur le volume d'eau prélevé.

b) Réglementation de la pollution des eaux souterraines et de délivrance des permis de rejet des eaux usées

Le permis pour le rejet d'eaux usées dans le sol prévoit des conditions sur le mode de rejet et le niveau de traitement requis, et est conçu pour protéger les eaux souterraines contre la pollution. Le principe du «pollueur-payeur» est normalement appliqué dans le cadre réglementaire où les plaintes sont souvent liées à la charge de pollution rejetée dans le sol.

c) Institution de sanctions pour non-conformité

Des sanctions sous forme de pénalités sont instituées pour ceux qui refusent catégoriquement de se conformer aux dispositions des lois et des conditions d'autorisation. Ces sanctions peuvent aller de l'amende à des peines d'emprisonnement, en fonction de la gravité des impacts et de la persistance de l'infraction.



d) Contrôle des activités de réalisation de forage

Le contrôle des activités de construction de forage d'eau par les entrepreneurs de forage est fait pour assurer des normes élevées d'exécution de forage, l'amélioration des rapports sur les conditions hydrogéologiques rencontrées, et une probabilité réduite de construction de forage/puits illégaux. Cela se fait normalement par la délivrance de permis de foration.

e) Planification des ressources à l'échelle du bassin versant ou de l'aquifère

Les dispositions pour la planification des ressources en eau, en référence aux bassins versants d'eau de surface et / ou de systèmes aquifères, sont parfois prises sur la base d'un inventaire des ressources en eau et des usages existants identifiés, soit dans le cadre des évaluations spécifiques d'utilisation de l'eau ou dans le cadre d'études d'impact environnemental. Ces plans constituent une base intégrée pour l'évaluation des demandes individuelles de droits d'eau ou de permis et peuvent être juridiquement contraignants. Toutes les décisions concernant les demandes doivent être compatibles avec ces dispositions.

f) L'utilisation combinée des eaux souterraines et des eaux de surface

Reconnaissant le rôle de l'utilisation conjointe de l'eau, il peut être avantageux dans certains cas d'avoir un permis unique qui couvre, par exemple, à la fois l'exploitation des eaux souterraines et le rejet d'un effluent d'une qualité acceptable dans un cours d'eau de surface; ou un permis unique pour l'utilisation et la dérivation d'eau de surface, couplée avec le rejet d'un effluent de qualité acceptable sur le sol.

g) Le zonage des sols pour la conservation et la protection des eaux souterraines

Dans certains pays, la législation prévoit pour les administrateurs de l'eau, la possibilité de déclarer «zones de contrôle spécial», les zones où des mesures exceptionnelles (telles que des restrictions sur des nouveaux forages d'eau et / ou des taux de prélèvement d'eau souterraine) deviennent possibles dans l'intérêt d'éviter la dégradation probable de l'aquifère. Le zonage des terrains peut également être ciblé pour servir à des fins de protection des zones de recharge des aquifères vulnérables et / ou des sources d'approvisionnement en eau souterraine.

Dans les zones définies, des restrictions peuvent être appliquées en relation avec des activités potentiellement polluantes (comme certains types d'urbanisation, les décharges de déchets solides, le stockage et la manipulation de produits chimiques dangereux, les installations minières et carrières, etc.). Pour la prévention de la pollution diffuse provenant de l'occupation des terres agricoles, il est plus indiqué d'introduire des interdictions ou des mécanismes de contrôle des importations de certains pesticides et de promouvoir l'adoption de codes de bonnes pratiques agricoles.

h) Faciliter la participation des parties prenantes et des usagers de l'eau

La participation des usagers de l'eau souterraine et des autres parties prenantes



dans la gestion des eaux souterraines est devenue de plus en plus reconnue et appréciée, en raison du fait que les dispositions légales sont plus susceptibles d'être mises en œuvre lorsque les parties prenantes ont leur mot à dire et sont activement impliquées. Outre les associations locales d'utilisateurs d'eau, plus amplement la constitution «d'organismes de gestion de l'aquifère», peut être nécessaire pour les grands aquifères :

- pour discuter de la mise en œuvre des mesures dans les secteurs utilisateurs et entre les associations d'utilisateurs d'eau ;
- pour se mettre d'accord sur les actions prioritaires dans les zones où la situation des eaux souterraines est critique ;
- pour aider l'organisme de réglementation des ressources en eau, en général, dans l'administration des prélèvements des eaux souterraines.

Ces organisations doivent cependant disposer d'un statut juridique, et doivent être intégrées dans des mécanismes institutionnels plus larges pour la gestion et la protection des ressources en eau souterraine.

i) Dispositions pour la surveillance des eaux souterraines

La réglementation des eaux souterraines prévoit normalement la surveillance de l'état des nappes d'eau souterraine en termes de quantité et de qualité, et de l'utilisation de l'eau par les usagers eux-mêmes; mais les institutions de réglementation des eaux souterraines à divers niveaux doivent aussi surveiller de façon régulière la conformité.

6.3 Le système de permis dans la gestion des eaux souterraines

Les ressources en eau ont toujours été allouées sur la base de critères sociaux, en s'assurant que l'usage de l'eau pour la consommation humaine, l'assainissement, et pour la production d'aliment, est de première priorité.

La croissance démographique a fait que la rareté de l'eau est devenue un problème majeur dans de nombreux pays, et la pollution est plus répandue aujourd'hui avec la qualité de l'eau qui se dégrade; il en résulte une diminution de la disponibilité de l'eau douce. En conséquence, il y a une plus grande compétition entre les usages : l'eau potable, l'irrigation, l'industrie, l'environnement, etc.

La plupart des pays d'Afrique les ressources en eau sont une propriété publique, avec le gouvernement qui a la responsabilité globale de la gestion. Le droit ou permis de prélever (ou dévier) et d'usage de l'eau (y compris les eaux souterraines) peut être accordé à des particuliers, des organismes publics ou sociétés privées, sous certaines conditions, et ces droits sont généralement délivrés par l'autorité de réglementation des ressources en eau. Le «droit de l'eau» ou le «permis d'usage de l'eau» constitue généralement le droit d'utiliser (mais pas de s'approprier) l'eau elle-même. Les autorisations de prélever et d'utiliser l'eau souterraine sont gérées à travers les permis, licences, concessions ou autorisations, généralement appelés ici «droits de l'eau» ou «permis de l'eau».



Nécessité d'un système d'octroi de licences pour utiliser l'eau souterraine

Un système d'octroi de licences pour les eaux souterraines (par la délivrance de permis de prélever et d'utiliser les eaux souterraines) vise à réglementer les interdépendances entre les usagers de l'eau. Il est introduit en tant que moyen pour :

- Réduire les interférences entre les forages de production;
- Éviter les conflits contreproductifs qui peuvent survenir, et;
- Résoudre les conflits latents entre usagers voisins.

Toutefois, la mise en place d'un système de licence compréhensif a des avantages plus larges, car il fournit une base solide pour l'exploitation et la protection des ressources en eau et pour la conservation des écosystèmes aquatiques. Les autres étapes en vue de la gestion plus intégrée des ressources en eau ne peuvent être efficacement abordées que quand un système de licences des eaux souterraines a été effectivement mis en place pour :

- Favoriser la participation des usagers de l'eau dans la gestion des eaux souterraines;
- Améliorer l'efficacité économique;
- mettre en œuvre des programmes de gestion de la demande afin de réduire les prélèvements des eaux souterraines ;
- collecter systématiquement les redevances de prélèvement afin d'augmenter les recettes pour la gestion des ressources ;
- rendre possible la transaction des droits de prélèvement pour promouvoir l'utilisation plus efficiente de l'eau;
- développer l'utilisation conjointe des ressources en eau de surface et souterraines.

Bien que l'existence de systèmes d'octroi de licences d'eau souterraine ne garantisse pas l'approvisionnement en eau de quantité et qualité donnée, ils offrent aux utilisateurs de l'eau une plus grande sécurité d'approvisionnement à des fins d'investissement, et constitue un capital précieux comme garantie bancaire pour obtenir des crédits de développement.



ENCADRÉ 6.1 UN EXEMPLE DE PERMIS (DE L'OUGANDA)

PERMIS DE PRELEVEMENT D'EAU SOUTERRAINE

(The Water Statute, No. 9 of 1995, and the Water Resources Regulations, 1998)

Dans l'exercice des pouvoirs qui sont conférés au Directeur par les articles 5, 18 et 29 du Statut de l'Eau, 1995; et conformément à la réglementation 16 des ressources en eau Règlementation de 1998, il est accordé un permis de prélèvement d'eau souterraine

Numéro :

A :

Pour prélever l'eau en conformité avec les termes et conditions de ce permis

Le permis est accordé dans les conditions et modalités définies ici dans l'annexe, qui fait partie de ce Permis, et dans toutes les autres modalités et conditions énoncées dans le Statut de l'eau, 1995 et la Règlementation sur les ressources en eau, 1998

Ce permis est accordé pour une période ne dépassant pas 5 an (s), qui entrera en vigueur le

Lundi, 21 novembre, 2005 jusqu'au Mercredi, 24 novembre, 2010.

Date d'émission : Lundi, 21 novembre, 2005

.....
DIRECTEUR DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mise en place des conditions pour l'octroi du permis

Tous les permis doivent être émis avec des conditions. L'ensemble des conditions se divisent en deux catégories, à savoir : les conditions standard et les conditions spéciales. Les conditions standard sont dérivées de la loi et s'appliquent à tous les titulaires de permis, indépendamment de leur emplacement et la nature de l'activité. Des conditions particulières sont spécifiques au requérant et dépendent du type d'activité à réglementer, la quantité d'eau souterraine à prélever, la nature et la taille de l'aquifère ou la zone et les intérêts particuliers à protéger. Un exemple de permis à prélever des eaux souterraines est donné dans l'Encadré 6.1 ci-dessus.



Tableau 6.1: Termes et conditions habituellement spécifiés dans le permis d'utilisation et de prélèvement des eaux souterraines (GW-Mate Briefing note 5, modifié)

TERME OU CONDITION	COMMENTAIRE
durée du droit/permis	Requiert de la souplesse, mais varie entre 1 à 5 ans
points de prélèvement et d'usage	Ceux-ci doivent être précisés car ils peuvent varier
but de l'utilisation	Important de distinguer les usages à des fins de consommation, des autres
débit de prélèvement	Ceci doit être spécifié car, il est la base de la surveillance de la conformité et également des redevances à payer
spécification d'exécution des travaux	Détails de la profondeur, du diamètre, de la finition, de la tête de forage, etc doivent être déclarés.
exigences environnementales	Ceux-ci traitent avec les dispositions nécessaires pour protéger la ressource ou de s'assurer qu'aucun impact environnemental négatif ne soit causé par l'utilisation des eaux souterraines dans le cadre du permis
les droits du permis	Des droits sont généralement payés pour l'utilisation de l'eau en vertu du permis
enregistrement des transactions	Obligation de déclarer et de présenter des informations sur l'utilisation des eaux souterraines et de toute autre information recueillie dans le cadre du permis
perte ou restriction du droit	Confiscation sans compensation pour la non-utilisation ou la non-conformité
suspension ou annulation du droit ou permis	Indique les circonstances dans lesquelles le permis peut être suspendu ou annulé comme une sanction ou en cas d'urgence sans compensation
revue du droit / permis	Énonce l'ajustement périodique nécessaire avec compensation selon l'offre / demande
renouvellement du droit / permis	Énonce les exigences et les conditions de renouvellement du permis

Implications d'un système d'octroi de licences de l'eau souterraine

Les systèmes d'octroi de droits / permis de prélèvements et d'utilisation d'eau doivent être un système complet et unifié couvrant aussi bien les eaux souterraines que de surface. Une partie du système devrait être suffisamment détaillée pour minimiser les conflits entre les utilisateurs, et doit préciser les conditions dans lesquelles l'eau souterraine est prélevée ; ce qui peut inclure le temps, le débit, le volume et la priorité qui s'appliquent en cas de pénurie.

Toutefois, les utilisateurs devraient bénéficier d'une sécurité raisonnable dans leur droit de continuer à prélever et à utiliser l'eau souterraine dans l'intérêt de la stabilité, et pour encourager les investissements. Les mécanismes judiciaires, ou de revue, appropriés doivent être en place pour permettre aux utilisateurs d'eau souterraine et d'autres personnes, touchées par les impacts, d'interroger et de contester les décisions.

Le tableau 6.1 résume les principales conditions qui sont habituellement spécifiées dans l'octroi de droits / permis d'utilisation des eaux souterraines.



6.4 Allocation des eaux souterraines

Principaux critères d'allocation

Les objectifs de l'allocation de l'eau comprennent généralement des facteurs économiques, sociaux et environnementaux. Des moyens appropriés d'allocation des ressources sont nécessaires pour parvenir à une allocation optimale de la ressource.

Il ya plusieurs critères utilisés dans l'allocation de l'eau:

- La souplesse dans l'allocation de l'eau, de sorte que la ressource puisse être réaffectée d'un utilisateur à un autre, pour plus d'avantages sociaux, pour des usages économiques et écologiques grâce à une revue périodique, et en évitant la perpétuité dans l'allocation;
- La sécurité du bail pour les utilisateurs confirmés, afin qu'ils prennent les mesures nécessaires pour utiliser la ressource de manière efficace; la sécurité n'est pas incompatible avec la souplesse aussi longtemps qu'il ya une réserve de ressources disponibles pour répondre aux demandes imprévues ;
- La prévisibilité des résultats du processus d'allocation, de sorte que la meilleure allocation puisse être matérialisée et l'incertitude (en particulier pour les coûts de transaction) soit minimisée ;
- L'égalité dans le processus d'allocation est importante. Les utilisateurs potentiels doivent percevoir que le processus d'allocation procure des chances égales, dans l'utilisation de la ressource, à chaque usager potentiel ;
- L'acceptabilité politique et publique, pour que l'allocation serve les valeurs et les objectifs approuvés publiquement, et soit donc acceptée par tous les segments de la société ;
- L'efficacité, de sorte que la forme d'allocation change des situations indésirables existantes tels que la baisse de niveau de la nappe et la pollution de l'eau, et se dirige vers la réalisation des objectifs stratégiques visés ;
- La faisabilité administrative et la durabilité, pour être en mesure de mettre en œuvre le mécanisme d'allocation, et pour permettre un effet croissant et continu de la politique de l'eau.

L'administration d'un système d'allocation des eaux souterraines

L'allocation des eaux souterraines doit être conduite en même temps avec celle des eaux de surface dans un système unifié d'allocation de l'eau. Lorsque les systèmes d'administration sont séparés pour des raisons diverses, des efforts doivent être entrepris pour les intégrer, ou, si nécessaire, d'introduire des mécanismes de coordination. De cette manière, les interactions physiques entre les deux masses d'eau sont prises en compte dans l'allocation de l'eau.

Les Organisations de bassin doivent introduire cette pratique «conjointe» d'allocation de l'eau, en tenant compte à la fois des ressources en eau de surface et souterraine. Pour être efficace, les responsabilités des Organismes de bassin exigent à la fois la compréhension et la gestion des eaux souterraines et des épisodes de recharge des aquifères, ainsi que des actions qui y sont liées.



Tableau 6.2: Considérations particulières relatives à l'octroi de licences de l'eau souterraine (GW-Mate Briefing note 5, modifié)

CONSIDERATION	COMMENTAIRE
<i>Technique</i>	
problèmes de qualité des eaux souterraines	Les effets possibles de nouveaux prélèvements et l'impact des rejets d'eaux usées sont à considérer
niveau de connexion de l'eau de surface	La connexion entre les eaux souterraines et les eaux de surface varie considérablement, et doit être considérée lors de l'évaluation des effets sur des tiers et de l'environnement
réalimentation de la ressource	Certains aquifères ont une recharge actuelle limitée et l'utilisation des "eaux souterraines fossiles" nécessite des critères spéciaux
double objectif de certains forages	Les sondages d'investigation peuvent être utilisés comme des forages de production d'eau, puisque un sondage exploratoire est trop coûteux
<i>Gestion</i>	
entreprise de forage d'eau	Une réglementation parallèle requise en fonction de compétences particulières nécessaires et de risque de pollution causé par des forages mal construits
flexibilité dans l'allocation de l'eau	Doit être prévue lorsqu'on fait face à une incertitude hydrogéologique et un besoin de hiérarchiser la réallocation des ressources pour un usage domestique
zones de préservation des eaux souterraines	Pourraient d'être désignées pour atténuer la dégradation due à l'exploitation excessive ou à une menace de pollution
aquifères transfrontaliers	Peut conduire à des désaccords entre Etats / nations voisins sur le comportement à tenir et les priorités d'usage des ressources

L'utilisation combinée des eaux souterraines et des eaux de surface devrait être encouragée, et les systèmes d'administration doivent veiller à ce que :

- Les limites à l'utilisation acceptable des eaux souterraines sont clairement spécifiées, généralement en fixant un niveau de rabattement maximal de la nappe; et
- L'ordre de priorité d'usage conjoint par les utilisateurs (par ex. des deux sources) est déterminé par rapport aux autres utilisateurs qui ont une seule source.

Le tableau 6.2 résume les principaux points à considérer lors de l'administration d'un système de licences et d'allocation de l'eau. Le niveau de connexion de l'eau de surface doit être évaluée en termes d'effets sur des tiers (utilisateurs en aval), et d'assurer le débit de base du cours d'eau, la protection des écosystèmes environnementaux et la durabilité des sources. Cela nécessite donc une considération aussi bien sur les eaux de surface que souterraines lors de l'allocation de l'eau souterraine.



ENCADRÉ 6.2 CONSIDÉRATIONS CRITIQUES LORS DE L'ALLOCATION DE L'EAU SOUTERRAINE

Complexité et obstacles dans la mise en œuvre :

Beaucoup de circonstances historiques, sociales, écologiques, économiques et politiques influencent l'exploitation des ressources en eaux souterraines ; Le défi complexe de contrôle de la conformité des utilisateurs des eaux souterraines, en accordant une attention à la capacité institutionnelle existante et le rôle essentiel que les usagers eux-mêmes ont à jouer.

«Créer un environnement propice» pour la mise en œuvre :

Reconnaître que les licences et l'allocation de l'eau doivent être adaptées aux circonstances locales spécifiques

S'assurer d'un soutien politique au plus haut niveau, car de puissants intérêts économiques sont généralement touchés lors de l'allocation / réallocation des ressources en eau

Réfléchir à deux fois avant d'appeler à des modifications législatives, afin de s'assurer que les insuffisances soulevées pourraient être surmontées sans un long processus de réforme juridique

A partir de la définition de la politique des ressources en eau, qui comprend les justificatifs pour une loi modifiée /nouvelle sur l'eau et un aperçu de la façon dont les droits d'utilisation d'eau existants seront traités

En admettant que «bon» vient avant «parfait», et que le système des droits d'eau souterraine ne peut pas être exhaustif, mais doit être réalisable

Être convaincu qu'il y aura toujours de la place pour une amélioration progressive; il n'est pas nécessaire d'attendre la loi parfaite et l'institution idéale avant de commencer

Accepter que la tâche ne peut être atteinte du jour au lendemain; l'expérience internationale a montré que la conception et la mise en œuvre des systèmes de droits d'eau doit toujours être une entreprise de longue haleine

Impliquer tous les acteurs dès le départ pour s'assurer une large appropriation du système mis en place; aussi bien les secteurs des usagers de l'eau que le personnel administratif qui gouvernent le système devraient participer

Souligner que les instruments réglementaires seuls ne suffisent pas et que l'administration des droits d'eau nécessite un équilibre finement réglé d'instruments réglementaires, d'instruments économiques et participatifs.

Source: Batu, 1998

Pour assurer une meilleure conformité des utilisateurs d'eau souterraine, la participation des parties prenantes devrait être renforcée en parallèle avec la gestion de l'information afin de donner de la transparence au processus d'allocation. La surveillance de l'usage de l'eau et des ressources en eau, est également essentielle pour une meilleure application de l'allocation de l'eau.



Un certain nombre d'outils de mise en œuvre sont nécessaires, qui devraient être aussi simples que possible :

- **Instruments de planification** : tableau des usagers de l'eau et de la population-pollueur, et des modèles de la quantité / qualité de l'aquifère pour la hiérarchisation des zones à contrôler ;
- **Directives de gestion** : procédures pour la réception, l'évaluation et le suivi des demandes;
- **Système d'information** : basé sur un logiciel adéquat pour gérer les demandes, la délivrance des permis, pour contrôler le respect par l'utilisateur de la réglementation, pour effectuer un contrôle opérationnel de qualité et fournir des informations, faciles à comprendre, aux usagers de l'eau;
- **Education du Public** : pour renforcer la sensibilisation politique et du public en général.

Les aspects essentiels qui doivent être pris en compte dans la mise en œuvre de l'allocation des eaux souterraines (Encadré 6.2) comprennent la complexité du processus de mise en œuvre, et l'environnement favorable qui peut faciliter le respect de la réglementation par l'utilisateur.

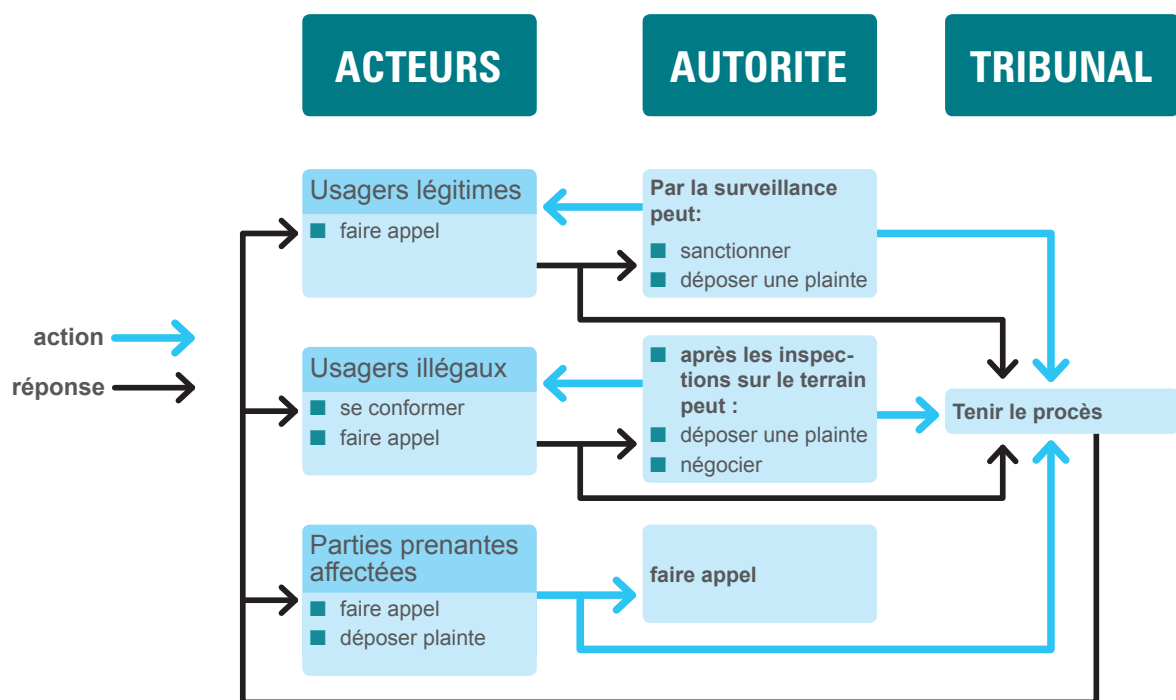


Figure 6.1: Principales interactions sur l'introduction ou la consolidation d'un système de droits d'eau souterraine (GW Mate Briefing note 5, modifié)



Pour s'assurer d'un système efficace de licences et l'allocation des eaux souterraines, les organismes en charge de la réglementation et de son application doivent porter une attention particulière aux questions clés comme le montre l'Encadré 6.3 ci-dessous.

ENCADRÉ 6.3. QUESTIONS RELATIVES AUX PRIORITÉS CLÉS POUR LES ORGANISMES DE RÉGLEMENTATION ET D'APPLICATION

Personnel suffisant, de capacité adéquate pour faire respecter les règlements et faire des évaluations appropriées ;
Lois pratiques, applicables et basées sur une connaissance précise de la gestion des ressources et des impacts environnementaux ;
Personnel à cheval sur les pratiques de bonne gestion et ayant une connaissance scientifique appropriée ;
Un sentiment d'appropriation de la part des parties prenantes afin qu'ils acceptent les procédures de suivi, d'exécution et de réglementation; l'appropriation peut être construite grâce à l'utilisation de techniques de sensibilisation et de gestion participative ;
Des ressources financières adéquates pour soutenir le personnel et les opérations, et la transparence dans la gestion financière, afin de minimiser l'échec de la réglementation ;
Sélection d'indicateurs significatifs pour les questions techniques, économiques et sociales et de références appropriées ;
Concevoir et mettre en œuvre un programme d'éducation juridique et de sensibilisation, pour les parties concernées par la réglementation et le grand public. Cela contribue à la mise en pratique des instruments juridiques et veiller à ce que l'utilisation des instruments de réglementation ne se limite pas à des spécialistes.

6.5 Principales interactions dans le système d'allocation et d'octroi de licences d'eau souterraine

Dans la gestion d'un système d'octroi de licences et d'allocation des eaux souterraines, l'acteur le plus important est le demandeur ou le titulaire d'un permis d'usage de l'eau (figure 6.1). Mais d'autres utilisateurs du même aquifère et de l'eau de surface associée, doivent être aussi impliqués. Les autres parties prenantes (pas seulement les usagers de l'eau, mais ceux dont les intérêts pourraient être affectés) peuvent aussi vouloir exprimer une opinion au sujet d'une demande d'un nouveau droit, de déposer une plainte ou poursuivre un utilisateur existant, ou de faire appel contre les décisions.

L'autorité, en charge de la ressource en eau, peut refuser au demandeur un nouveau permis, ou peut le lui accorder et l'enregistrer. Une fois la demande acceptée, le demandeur devient un utilisateur légitime qui aura souvent à payer les frais et charges selon les termes et conditions attachées à ce droit. L'autorité, en charge



de la ressource en eau, doit tenir des registres et surveiller la conformité au moyen d'inspections sur le terrain et d'autres moyens. Après la découverte d'un usager non-conforme, l'autorité peut imposer un avertissement ou une sanction, ou entreprendre des poursuites devant les tribunaux si une infraction pénale a été commise. En outre, le pouvoir judiciaire peut recevoir les appels du titulaire du droit ou de tierces parties concernées. Afin d'alléger le fardeau pesant sur le système judiciaire, les appels peuvent être adressés en premier lieu au fonctionnaire le plus gradé de l'autorité en charge de la ressource en eau.

Le style de gestion est aussi important que le processus de gestion, parce que les usagers préfèrent une autorité de l'eau qui travaille avec eux (plutôt que contre eux). Ceci peut être réalisé en faisant en sorte que :

- Les mécanismes de résolution des conflits sont bien acceptés, sont économiques et rapides;
- Les sanctions sont équilibrées pour dissuader les réfractaires, mais pas pour paralyser l'activité des usagers de l'eau;
- La surveillance est réaliste et en rapport avec la capacité institutionnelle ;
- Le processus de tenue des registres doit s'assurer que des copies complètes sont disponibles pour examen par le public ;
- La discrétion de l'autorité de l'eau est limitée pour décourager la corruption, mais aussi pour réduire la bureaucratie ;
- Le pot-de-vin de l'utilisateur, comme la corruption de l'administration, est traitée de façon décisive.

Lorsque la législation de l'eau est mise à jour ou de nouvelles lois adoptées, des difficultés surgissent en raison de pressions exercées par les utilisateurs actuels et leurs alliés politiques, pour faire concéder des exceptions. Il n'y a pas de règles universelles applicables, mais les indications suivantes devraient être utiles.

- Les usages actuels doivent être efficaces et profitables pour bénéficier de reconnaissance automatique. Si ce n'est pas possible de calculer un bilan précis des nappes, alors tous les utilisateurs doivent avoir un permis de courte durée, qui peut être révisé à la lumière d'informations plus fiables.
- Les droits coutumiers doivent être traités avec intelligence, soit ils sont officiellement reconnus ou dûment indemnisés.
- Non seulement les utilisateurs illégaux sont à blâmer pour la situation actuelle insatisfaisante des ressources en eaux souterraines, mais aussi l'administration précédente en charge de l'eau pourrait également être responsable, en raison du manque de capacité ou de soupçon de corruption.
- Aucune exception ne devrait être tolérée; tous les utilisateurs d'eau souterraine actuels, y compris les services publics d'approvisionnement en eau, doivent être amenés dans le giron de la loi.
- La spécification des seuils de prélèvements par les utilisateurs de l'eau devrait être un processus dynamique. Certains usages mineurs peuvent être exemptés de la bureaucratie des droits de l'eau, mais une simple déclaration d'existence serait utile pour les reconnaître comme utilisateurs légaux; des mesures plus strictes doivent éventuellement être nécessaires.



6.6 Allocation des ressources en eau souterraine non renouvelables

Dans le cas de systèmes aquifères non renouvelables, la mise en œuvre d'un système des droits de prélèvement d'eau souterraine est une priorité. Elle doit être cohérente avec la réalité hydrogéologique de baisse continue des niveaux d'eau souterraine; ce qui pourrait diminuer la production des forages et éventuellement provoquer la détérioration de la qualité des nappes. Ainsi, les permis (pour des débits déterminés de pompage à des endroits donnés) devront être limités dans le temps pour le long terme, mais également devront être soumis à un examen initial et à une modification après 5-10 ans. En ce moment, on en saura beaucoup sur la réponse de l'aquifère au prélèvement, par un suivi opérationnel. Il est possible que les règles d'utilisation établies par des organismes communautaires dûment habilités puissent prendre la place de permis de prélèvement juridiquement plus formalisés.

Beaucoup d'aquifères d'extension régionale contenant de grandes réserves d'eau souterraine non renouvelables sont transfrontaliers, soit dans un sens national, ou entre des provinces autonomes ou des états au sein d'une seule nation. Dans de telles circonstances, il y aura beaucoup à gagner mutuellement grâce à l'harmonisation de la législation sur les eaux souterraines et des règlements pertinents, en particulier les systèmes de droits d'eau souterraine.

Le système d'allocation de l'eau doit tenir compte de considérations spéciales :

- Les impacts de la nouvelle allocation de l'eau sur les usagers traditionnels des eaux souterraines (certaines compensations peuvent être fournies);
- Veiller à ce que suffisamment de réserves d'eau souterraine mobilisable et de qualité acceptable, soient laissées dans le système aquifère;
- Les difficultés à estimer les impacts du prélèvement sur un écosystème donné;
- Considérer "ce qui va se passer après?", puis identifier et estimer le coût de la "stratégie de sortie" probable, et;
- Envisager la réutilisation de l'eau urbaine, industrielle et de l'exploitation minière, et contrôler soigneusement l'eau de l'irrigation agricole.

6.7 Cadre institutionnel pour la gestion des eaux souterraines

Un environnement favorable est nécessaire pour une gestion efficace des ressources en eau, y compris les eaux souterraines. Les dispositions institutionnelles pour la gestion des ressources en eau souterraine vont clarifier les rôles et les responsabilités des institutions nationales et / ou provinciales en charge des ressources en eau souterraine et définir les moyens pour faire face aux contraintes potentielles du processus de gestion telles que : les limites (géographiques) inadéquates de la gestion des eaux souterraines, la faible application de la réglementation, le manque de consensus social, la mauvaise coordination inter-institutionnelle.

Étant donné les problèmes créés par la pénurie d'eau et la pollution croissante, les systèmes de réglementation s'appliquent à toutes les ressources en eau dans un état,



ou reconnaissent le droit souverain de l'Etat à la gestion des ressources en eau. Ainsi l'eau souterraine a été déclarée comme un "bien public" transformant ainsi les anciens propriétaires de la nappe phréatique en utilisateurs, qui doivent remplir une demande à l'Etat pour bénéficier de droits / permis d'usage et de prélèvement de l'eau. Puisque l'état est le gardien ou administrateur des eaux souterraines, il peut (en plus de l'octroi de droits d'eau) adopter des mesures pour prévenir la pollution et la baisse de niveau des nappes. La législation actuelle tend aujourd'hui à exiger la planification des ressources en eau à l'échelle d'un aquifère entier ou d'un bassin versant.

Une structure idéalisée avec les fonctions d'un organisme gouvernemental agissant en tant que gardien des eaux souterraines est suggérée dans la figure 6.2. Une organisation de gestion distincte qui s'écarte de la structure idéalisée peut cependant être établie pour la gestion de très grands aquifères. Dans la plupart des cas, la gestion des eaux souterraines sera pleinement intégrée dans les organisations en charge aussi bien des eaux de surface, que des eaux souterraines. Cependant le problème historique qui fait que la gestion des nappes reçoit une attention insuffisante dans cette disposition, doit être abordée.

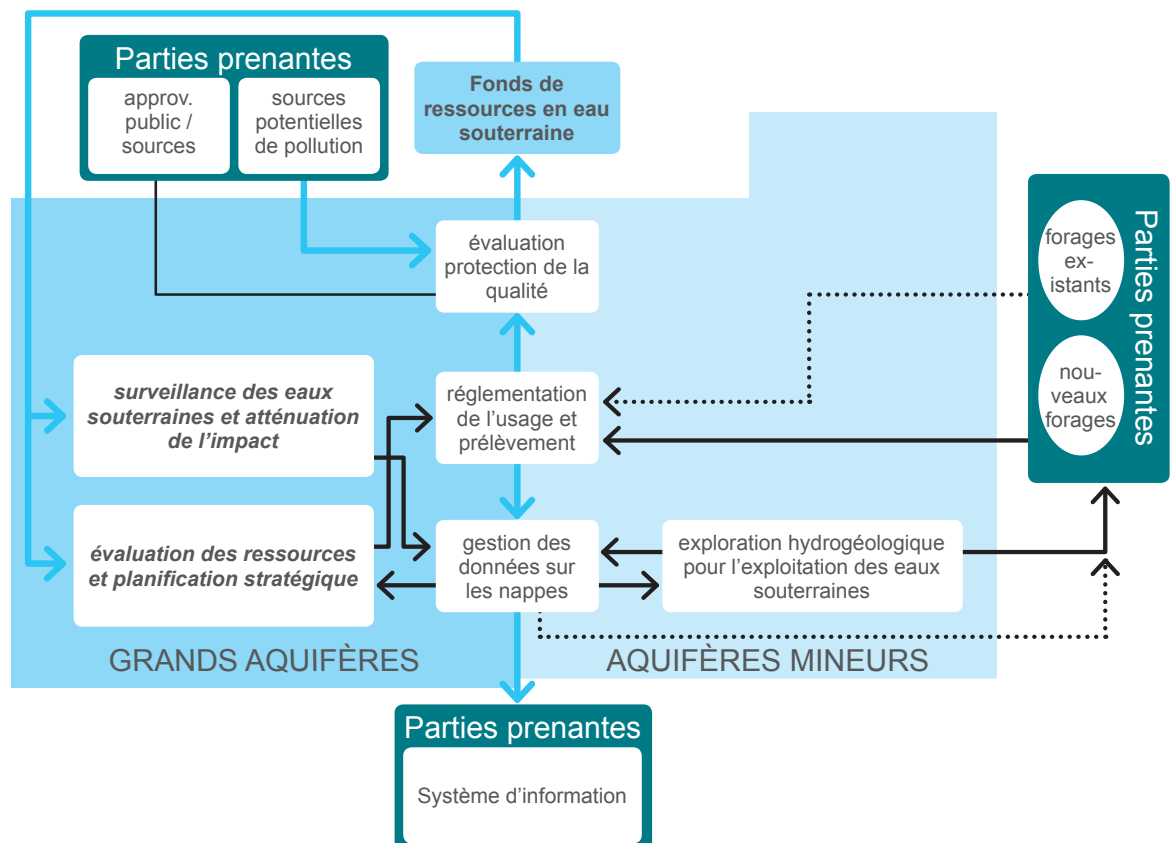


Figure 6.2: Structure idéalisée et fonctions pour une agence gouvernementale agissant comme gardien des eaux souterraines. (Foster & Kemper, 2002)



6.8 Mise en œuvre d'un système de réglementation des eaux souterraines

La mise en œuvre réussie d'un système de réglementation des eaux souterraines (tableau 6.3) dépend d'un certain nombre de facteurs, dont :

- Un montage administratif et le niveau de formation des administrateurs de l'eau;
- Une compréhension claire des rôles et des fonctions institutionnelles à tous les niveaux pertinents;
- Un niveau adéquat de sensibilisation du public et l'acceptation des dispositions légales;
- La volonté politique de promouvoir et de réaliser une gestion durable des eaux souterraines.

Une organisation administrative adaptée aux conditions nationales ou étatiques devrait soutenir la réglementation des eaux souterraines :

- Au niveau national : les fonctions de gestion (couvrant à la fois la quantité et les aspects de qualité) devraient être confiées à un seul organisme ou un ministère ou (là où ce n'est pas considéré comme approprié) des mécanismes institutionnels clairs pour la coordination entre les organismes compétents doivent être établis;
- A l'échelle du bassin versant ou au niveau régional : la situation spécifique peut justifier la création d'agences de bassin, en particulier pour l'exécution de certaines fonctions de planification et de coordination;
- Au niveau intermédiaire ou local : il est important de porter une attention particulière aux arrangements institutionnels locaux pour l'administration de l'eau; c-à-d le rôle des autorités locales dans la gestion des ressources en eau (car ils représentent l'intérêt local); la création d'institutions intermédiaires (organisations de gestion de l'aquifère) qui ont le pouvoir juridique en ce qui concerne les aquifères spécifiés et avec une représentation adéquate des différentes associations d'utilisateurs d'eau, divers secteurs d'usage d'eau et une relation claire avec l'autorité locale de l'eau.



Tableau 6.3 : Fonction-clés de gestion de l'eau et rôles institutionnels (GW-Mate, Briefing note 4, modifié)

Fonction-clé	Activité principale	Rôles institutionnels			
		Autorité nationale de l'eau / OB	Agence locale de réglementation	Bureaux de gestion de l'aquifère / sous-bassin	Associations d'usagers de l'eau
ÉLABORATION D'UNE POLITIQUE ET PLANIFICATION STRATÉGIQUE					
	Évaluation des ressources	•	×	×	
	Évaluation de l'usage et Enquête socio-économique		•	×	×
	La planification stratégique à long terme	•	×	×	
	Les accords internationaux	•			
GESTION DES RESSOURCES / RÉGLEMENTATION					
Participation parties prenantes	Développer et maintenir un processus de participation active des parties prenantes à travers des activités de consultations régulières.	•	•	×	
	Fournir des conseils spécialisés et une assistance technique aux autorités locales et d'autres parties prenantes dans la GIRE.		•		
Contrôle de la pollution	Licences de rejet d'eaux usées	•	•	×	×
	Identifier les principaux problèmes de pollution.	•	•	×	×
	Définition des zones protégées	•	•	×	×
Allocation de l'eau	Administration des droits de l'eau / Licence d'utilisations de l'eau, y compris leur application.	•	•	×	×
	Licence d'exécutants d'ouvrage d'exploitation, par exemple foreurs	•	×		
Gestion de l'information	Définir les sorties d'information requises par les gestionnaires de l'eau et les différents groupes de parties prenantes dans un bassin versant.	•	•	×	×
	Organiser, coordonner et gérer les activités de gestion de l'information.	•	•	×	
Cadre de mise en place outils économiques et financiers	Fixer les droits et redevances pour l'utilisation de l'eau et la pollution	•	•	×	



Fonction-clé	Activité principale	Rôles institutionnels			
		Autorité nationale de l'eau / OB	Agence locale de réglementation	Bureaux de gestion de l'aquifère / sous-bassin	Associations d'utilisateurs de l'eau
Plans d'action du bassin	Procéder à une analyse de la situation avec les parties prenantes.	•	•	×	
	Évaluer les aménagements futurs dans le bassin.	•			
Situations d'urgence	Les mesures structurelles / non structurelles pour l'atténuation de l'inondation / de la sécheresse	•	×	×	×
	Préparation aux catastrophes		•	•	×
Surveillance & Respect réglementation	Enquête sur l'état de l'eau / base de données (quantité / qualité / socio-économique)	•	•	×	×
	Pollution et usage de l'eau	•	•	×	×
	Résolution des conflits	•	•	×	
SUIVI ET EVALUATION					
	activités de collecte de données de plusieurs organismes	•	×	×	×
	Communication avec les acteurs réguliers	•			
	Conditionnement de l'information d'une manière qui est facilement compréhensible pour le groupe-cible et qui répond à leurs besoins ou préoccupations.	•			

•, × indiquent respectivement la responsabilité pour, et la participation à la fonction de gestion correspondant, mais la situation varie quelque peu d'un pays à un autre en fonction de leur taille géographique et structure politique.



6.9 Références et autres lectures

CAPNET, 2010. **Groundwater management in IWRM- Training manual**, 2010

GW•MATE, 2002-2006,

Briefing Note 4. Groundwater Legislation and Regulatory Provision- from customary rules to integrated catchment planning.

Stephen Foster & Karin Kemper, 2002-2006.

Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools Sustainable Groundwater Management. Concepts & Tools, Series Overview.

Ariel Dinar, Mark W. Rosegrant, and Ruth Meinzen-Dick.

Water Allocation Mechanisms Principles and Examples.

Bird, J., W. Lincklaen Arriens & D. Von Custodio, 2008.

Water Rights and Water Allocation. Issues and Challenges for the Region. Asian Development Bank

GW•MATE, 2002-2006,

Briefing Note 5. Groundwater Abstraction Rights- from theory to practice

Howe, C. W., Schurmeier, D. R. and Shaw, W. D. Jr. 1986.

Innovative Approaches to Water Allocation: The Potential for Water Markets. Water Resources Research,
22(4):439-445.



La réglementation des eaux souterraines, les permis, l'allocation et les institutions

6.10 Exercices

Pour promouvoir une bonne discussion, et considérer les éléments de la législation, la réglementation et de l'allocation qui pourraient être entreprises à l'échelle de OBT régional, et aussi à l'échelle de OB national. Est-ce que le niveau régional est utile pour convenir de politiques / cadres communs et au niveau des OB de pays où la demande aura lieu?

EXERCICE 1

MISE EN ŒUVRE DE SYSTÈMES DE RÉGLEMENTATION ET D'ALLOCATION DES EAUX SOUTERRAINES

But

Pour partager l'expérience dans la mise en œuvre des systèmes de réglementation et d'allocation des eaux souterraines aux niveaux national et transfrontalier

Activité : se diviser en deux groupes et discuter :

1. Réglementation des eaux souterraines aux niveaux national et transfrontalier en soulignant les différences et les similitudes
2. Considérations clés au cours du déploiement et la mise en œuvre d'un système d'allocation des ressources en eau souterraine transfrontalières

Durée: 45 minutes

EXERCICE 2

APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES CONDITIONS D'AUTORISATION

But

Partager les expériences en matière d'application de la réglementation sur les eaux souterraines et les conditions d'autorisation

Activité : se diviser en deux groupes et discuter :

Application de la réglementation sur les eaux souterraines et les conditions d'autorisation aux niveaux national et transfrontalier soulignant les mécanismes possibles de l'application à employer, les défis attendus à chaque niveau et comment peuvent-ils être adressés.

Durée: 45 minutes



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



LE RÔLE DE LA PARTICIPATION DES PARTIES PRENANTES ET COMMUNICATION DANS LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES





Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

CONTENU

MODULE 7

Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

7.1	Pourquoi l'implication des parties prenantes?	4
7.2	Qui organise la participation des parties prenantes et comment est-elle faite?	6
7.3	Identification et évaluation des principales parties prenantes	8
7.4	Mécanismes institutionnels pour la participation des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines	10
7.5	Fonctions des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines	12
7.6	Qui sont parties prenantes des eaux souterraines pour les organismes de bassins transfrontaliers?	13
7.7	Qu'est-ce que la communication et pourquoi est-elle importante dans la gestion des eaux souterraines?	13
7.8	Autres lectures	17
7.9	Exercice	18

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa (Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





LE RÔLE DE LA PARTICIPATION DES PARTIES PRENANTES ET COMMUNICATION DANS LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

- Apprécier le rôle essentiel des acteurs de la gestion des eaux souterraines.
- Comprendre comment de classer les parties prenantes et identifier leurs intérêts et responsabilités.
- Recevoir des indications sur le maintien de la sensibilisation sur les eaux souterraines et la participation des parties prenantes dans le temps.
- Comprendre l'importance de la sensibilisation et la communication appropriée pour appuyer la gestion des eaux souterraines.

7.1 Pourquoi l'implication des parties prenantes?

Le fait que les parties prenantes devraient avoir leur mot à dire dans la gestion des ressources en eau dont ils dépendent est l'un des éléments constitutifs de la notion de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). La principale raison pour laquelle la participation des parties prenantes est importante, est que les intérêts des parties prenantes dans le système de gestion des eaux souterraines (et son acceptation) est une condition préalable à sa mise en œuvre réussie.

Les principales différences entre la gestion des systèmes d'eau de surface et des eaux souterraines sont que pour les systèmes d'eau souterraine :

- Les utilisateurs ont le contrôle de l'interrupteur «marche-arrêt» et peuvent pomper l'eau des forages privés quand ils veulent sans référence à une autorité de contrôle. L'eau de surface, de l'autre côté, est souvent distribuée par une autorité centrale.
- Il peut y avoir plusieurs milliers de forages privés et d'utilisateurs au sein d'une zone de gestion des eaux souterraines, ce qui rend la gestion et le contrôle par une autorité centrale impossible.
- Pour cette raison, la tâche de gestion et de surveillance de l'aquifère doit impliquer les utilisateurs, aidés par l'autorité de bassin versant / aquifère.

Les parties prenantes veulent généralement participer parce qu'ils ont un intérêt dans les ressources d'un aquifère particulier qu'ils veulent protéger. C'est peut-être parce qu'ils utilisent (ou veulent utiliser) les eaux souterraines, ou parce qu'ils pratiquent des activités qui pourraient entraîner une pollution des eaux souterraines, ou parce qu'ils sont préoccupés par la disponibilité de l'eau souterraine et les impacts environnementaux en raison de leur activités propres ou autres.



Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

Les parties prenantes doivent participer, parce que les décisions de gestion prises unilatéralement par l'organisme de réglementation sans consensus social sont souvent impossibles à mettre en œuvre. Les activités essentielles de gestion (telles que la surveillance, l'inspection et la perception des droits) peuvent être effectuées plus efficacement et économiquement grâce à des efforts de coopération et le partage des charges. Les avantages qui découlent de la participation des parties prenantes sont :

- une **prise de décision** plus éclairée et transparente;
- la **prévention des conflits** par le développement d'un consensus et le partage d'informations;
- des **avantages sociaux**, car elle tend à promouvoir l'équité entre les utilisateurs;
- des **avantages économiques**, car elle tend à optimiser le pompage et à réduire les coûts d'énergie;
- des **avantages techniques**, car elle implique généralement les parties prenantes dans la maintenance et conduit à de meilleures estimations des prélèvements d'eau;
- des **avantages environnementaux**, car les préoccupations locales spécifiques sont abordées et intégrées dans la gestion
- des **avantages de gestion**, car elles déclenchent des initiatives pour mettre en œuvre des mesures sur l'offre et la demande, et pour réduire le coût de la réglementation.

Quels avantages spécifiques de la participation des parties prenantes pouvez-vous identifier dans votre bassin?

De plus, et c'est très important, la gestion participative des aquifères fortement sollicités devrait **aider à la mise en œuvre des décisions impopulaires** comme changer conjointement les modes de consommation de l'eau souterraine dans l'intérêt commun, et à long terme.

Les autres décisions des parties prenantes peuvent également porter sur l'occupation des sols, la gestion des déchets et des aires protégées. Impliquer les parties prenantes, contribue à améliorer la gouvernance globale de la ressource en donnant crédibilité et responsabilité au processus de gestion.

L'implication des parties prenantes doit être considérée comme un processus continu et à long terme qui s'adapte aux conditions et aux besoins contextuels, et les changements en perspective. Les parties prenantes, en particulier les utilisateurs des eaux souterraines, ont tendance à avoir un intérêt à long terme dans la protection de l'aquifère et de s'assurer que l'utilisation des eaux souterraines est durable. Leur intérêt pour la gestion est généralement plus profond que «les gestionnaires de bassins versants» qui peuvent avoir une définition de leur travail qui inclut la gestion de l'aquifère, mais dont les moyens d'existence ne dépendent pas de l'eau souterraine qu'ils gèrent.

C'est dans ce contexte que «l'autorité» du bassin versant ou de l'aquifère devrait examiner et évaluer la contribution et les besoins des parties prenantes.



7.2 Qui organise la participation des parties prenantes et comment est-elle faite?

La participation des parties prenantes peut prendre plusieurs formes. À son niveau le plus réussi, il peut se produire même sans une organisation formelle - et il ya plusieurs exemples de nappes gérées au niveau local par des valeurs et normes communautaires solides, sans les associations d'usagers de l'eau souterraine ou l'initiative d'un organisme de réglementation des ressources en eau. Cela pourrait être appelé participation autonome des parties prenantes.

Cependant, dans la plupart des cas une sorte de soutien externe peut être nécessaire pour assurer la mobilisation des parties prenantes et la participation dans les organes et les processus décisionnels. Dans la théorie, il existe une distinction entre les différents niveaux de participation, depuis la consultation nominale à la véritable implication des acteurs (tableau 7.1)

La mobilisation des parties prenantes peut avoir lieu à tout moment pour une variété de raisons, et il est important d'être clair sur le but de la mobilisation des parties prenantes. Il peut être pour la collecte d'informations, pour aider au respect de la réglementation et la surveillance du niveau d'eau, ou pour effectuer diverses fonctions de gestion dans leur région. Il est important d'être honnête avec soi-même, ainsi qu'avec les parties prenantes quant à leurs attentes. Malheureusement, la participation des parties prenantes est souvent réalisée juste pour se conformer à des donateurs et d'autres exigences procédurales.

Malgré le long et difficile processus de mobilisation et d'organisation des acteurs, le plus grand défi est probablement de maintenir une participation active des parties prenantes au fil du temps. Une des clés est de s'assurer que les parties prenantes voient l'avantage de leur participation. Pour de nombreux intervenants, la gestion des ressources en eau peut être perçue négativement sembler négative, car ils sont soudainement confrontés à des restrictions de prélèvements d'eau et de rejets d'effluents ou d'exigences à l'égard de l'auto-surveillance. En outre, ils peuvent avoir à consacrer du temps, destiné à leurs propres activités de travail, pour participer. À cet égard, il est de la responsabilité de l'organisme de gestion de l'eau pour fournir et présenter les incitations concrètes et les avantages d'être impliqué dans le processus de gestion des ressources en eau dans le bassin versant.

La participation efficace à long terme, requiert un processus de communication et d'information, l'accessibilité et la transparence en ce qui concerne la situation des eaux souterraines et des données résultant du suivi et de tous les autres aspects de la gestion de l'eau dans la zone. Ceci devra être présenté dans des formats adaptés pour faciliter l'interprétation et peut englober un large éventail de groupes cibles comme parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines, et qui ne sont pas des professionnels. Il peut s'agir de Services publics, politiciens, collectivités locales ainsi que des représentants de la communauté.



Tableau 7.1: Types de participation des parties prenantes

	Caractéristiques
Participation manipulatrice	La participation est tout simplement un prétexte
Participation passive	Les gens participent pour qu'on leur dise ce qui a été décidé ou ce qui s'est déjà produit. L'information partagée appartient seulement aux professionnels externes
Participation par consultation	Les gens participent en étant consultés ou en répondant aux questions. Le processus décisionnel n'admet aucune action partagée et les professionnels ne sont pas tenus de considérer les points de vue des gens
Participation pour incitations matérielles	Les gens participent en échange de nourriture, d'argent ou d'autres avantages matériels. Les populations locales n'ont aucun intérêt à prolonger les pratiques lorsque les incitations finissent
Participation fonctionnelle	La participation est considérée par les agences externes comme un moyen d'atteindre les objectifs du projet, en particulier un coût réduit. Les gens peuvent participer en formant des groupes, pour répondre aux objectifs d'un projet prédéterminé
Participation interactive	Les gens participent à une analyse conjointe, ce qui conduit à des plans d'action et la création ou le renforcement de groupes locaux ou des institutions qui déterminent comment les ressources disponibles sont utilisées. Une méthode d'apprentissage est utilisée pour obtenir des points de vue multiples.
Auto-mobilisation	Les gens participent en prenant des initiatives indépendamment des institutions externes. Ils établissent des contacts avec les institutions externes pour les ressources et les conseils techniques, mais gardent le contrôle sur la façon dont les ressources sont utilisées

Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

Certains mécanismes qui renforcent l'engagement sont les suivantes :

- Faites en sorte que des situations hydrogéologiques complexes soient compréhensibles, par une bonne communication (voir section 6);
- Permettre, à travers l'information, aux organisations de parties prenantes d'avoir le pouvoir de décision sur leurs propres ressources en eau locales;
- S'assurer que toutes les parties prenantes sont correctement représentées, à haut niveau, dans les organes de gestion;
- Soutenir la mise en œuvre de réglementations claires, équitables et faciles à faire respecter pour la gestion des eaux souterraines locales.

Quelles expériences avez-vous eu en traitant avec les parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines? Est-ce votre autorité de bassin a créé un groupe officiel quelconque, de gestion des parties prenantes ? Qu'avez-vous appris sur la participation des parties prenantes après cet exercice?

Par expérience, le principal enseignement partout dans le monde est que la gestion des eaux souterraines est beaucoup plus question de mobilisation (facilitation et éducation) des utilisateurs et autres parties prenantes pour gérer leurs interactions entre eux et avec «leur» aquifère, plutôt que d'une gestion des ressources, imposée d'en haut.

Une autre leçon est que la stratégie de participation des parties prenantes est une partie intégrante et continue de la gestion des eaux souterraines, et non un événement ponctuel.



7.3 Identification et évaluation des principales parties prenantes

Un objectif principal de l'analyse des parties prenantes est de s'assurer que les gestionnaires de l'eau souterraine et les parties prenantes comprennent adéquatement les enjeux des différents groupes d'intérêt, y compris leurs attentes et leurs compétences. Elle devrait être liée à l'élaboration d'un processus institutionnel de l'engagement à long terme avec les parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines (voir la section 7.4 pour des exemples).

Étape 1: identification et regroupement des principaux acteurs dans le domaine de la gestion des eaux souterraines ¹.

- Qui sont les bénéficiaires potentiels?
- Qui sont ou pourraient être impactés négativement?
- Avez-vous identifié les groupes vulnérables ² qui pourraient être affectés?
- Est-ce que les partisans et adversaires de modifications des systèmes de gestion de l'eau, ont été identifiés?
- Est-ce que les intérêts genre adéquatement identifiés, ont été représentés?
- Quelles sont les relations entre les parties prenantes?
- Y a-t-il des parties prenantes importantes en dehors de la zone?

Un problème courant lorsqu'il s'agit de l'identification des parties prenantes, est de définir les limites (géographiques) du système des eaux souterraines.

L'eau affecte la société à bien des égards, et le développement socio-économique d'un grand aquifère dans un pays peut affecter les parties prenantes à l'échelle nationale et même internationale. Un exemple est la mise en place d'une société d'embouteillage d'eau potable dans la région. Il aura potentiellement des parties prenantes locales, nationales et même internationales.

Étape 2 : Évaluer les intérêts des parties prenantes et l'impact potentiel d'un projet ou d'une action de développement sur ces intérêts. Une fois que les parties prenantes clés ont été identifiées, l'intérêt possible que ces groupes ou individus peuvent avoir dans les eaux souterraines peut être considéré (tableau 7.2). Les questions à répondre, afin d'évaluer les intérêts des différentes parties prenantes ou groupes d'intervenants, sont :

- Quelles sont les attentes des parties prenantes?
- Quels sont les avantages qui sont probablement significatifs pour la partie prenante?
- Quelles ressources l'acteur pourrait être capable et désireux de mobiliser dans un processus de développement de la gestion et de la capacité d'adaptation?
- Quels sont les intérêts des parties prenantes qui sont en conflit avec la gestion de l'eau souterraine et les objectifs de la GIRE?
- Quels acteurs peuvent avoir des intérêts antagonistes?

¹ Cela pourrait être un (sous) le bassin versant, une zone aquifère, ou toute autre zone identifiée avec notamment la nécessité d'une gestion accrue des eaux souterraines.

² Ceux-ci peuvent être des personnes pauvres ou des personnes particulièrement dépendantes des eaux souterraines ou des écosystèmes dépendant des nappes.



Il est important de réaliser, lors de l'évaluation des intérêts des différentes parties prenantes, que certains acteurs peuvent avoir des objectifs et des intérêts cachés, multiples, ou contradictoires, qu'ils cherchent à promouvoir et à défendre.

Tableau 7.2. Gamme potentielle d'intérêts et les activités des acteurs de l'eau souterraine. GW-Mate 2010

Secteur / parties prenantes	Classes d'utilisation de l'eau	Processus de pollution	Autres catégories d'acteurs
Rural / agriculteurs	domestique; élevage; agriculture de subsistance; irrigation commerciale.	décharge des déchets des ménages, drainage de ferme; culture intensive (pollution pesticide / herbicide); eaux usées d'irrigation.	entrepreneurs de forage; les établissements d'enseignement; les associations professionnelles; journalistes / médias; entités gouvernementales compétentes.
Urbain / Municipalités / Ménages	services d'eau; approvisionnement privé.	eaux usées urbaines; élimination / réutilisation; décharges municipales.	
Industrie & mines	entreprises auto-approvisionnées.	rejets d'eaux usées; élimination des déchets solides; installations de stockage de produits chimiques / huile.	
Tourisme	hôtels et sites de campings.	rejets d'eaux usées; élimination des déchets solides.	
Environnement	écosystèmes de rivière / zones humides; lagunes côtières.		

Étape 3 : Évaluer l'influence et l'importance des parties prenantes. Dans la troisième étape, la tâche est d'évaluer l'influence et l'importance des parties prenantes identifiées à l'étape 1 et les classer en conséquence (tableau 7.3). L'influence se réfère à la puissance que les parties prenantes ont, tels que le contrôle formel sur le processus de prise de décision ou informel dans le sens d'entraver ou de faciliter la mise en œuvre des processus de gestion des eaux souterraines.

La représentation est un problème difficile, en effet il n'est pas possible de consulter ou impliquer tout le monde, mais il y a besoin de légitimer la représentation les structures formelles des parties prenantes.

Il est également important d'identifier les entités gouvernementales concernées qui ont une influence ou un impact sur la gestion des eaux souterraines comme l'agriculture (occupation des sols), l'environnement (occupation des sols, la gestion de la pollution et la santé des écosystèmes) comme des parties prenantes, afin de les faire participer à l'élaboration de stratégies et la mise en œuvre.

A la fois l'influence et l'importance des différentes parties prenantes peuvent être classées suivant des échelles simples et cartographiées les unes les autres. Cet exercice est une étape nécessaire pour déterminer la stratégie appropriée pour la participation des différentes parties prenantes.



Une réflexion doit être accordée à la situation de ceux qui n'utilisent pas (encore) les eaux souterraines. Il ne sera souvent pas possible, socialement et pratiquement, d'exclure les non-utilisateurs actuels de l'usage des eaux souterraines dans l'avenir, et des modalités de gestion qui définissent les règles d'accès pour les nouveaux utilisateurs sont nécessaires.

Tableau 7.3. Catégories de parties prenantes

Pourriez-vous donner des exemples de chacune de ces catégories dans la zone de votre bassin?

A. Grand intérêt / importance, haute Influence Ces parties prenantes sont la base d'une coalition efficace de soutien.	B. Grand intérêt / importance, faible influence Ces parties prenantes demandent une attention particulière si leurs intérêts doivent être protégés.
C. Faible intérêt / importance, haute influence Ces parties prenantes peuvent influencer les résultats, mais leurs priorités ne sont pas celles de la gestion des eaux souterraines. Ils peuvent être un risque pour progresser, mais pourraient également présenter une opportunité si elles sont incitées.	D. Faible intérêt / importance, faible influence Ces parties prenantes sont de moindre importance pour le projet.

Afin d'évaluer l'importance et l'influence des parties prenantes il faut essayer d'évaluer :

- La puissance et le statut (politique, social et économique) de la partie prenante;
- Le degré d'organisation de la partie prenante;
- Le contrôle que la partie prenante a sur les ressources stratégiques;
- L'influence informelle des parties prenantes (liens personnels, etc);
- L'importance de ces parties prenantes pour la réussite de la gestion des eaux souterraines.

7.4 Mécanismes institutionnels pour la participation des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines

La participation des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines peut avoir lieu à différents niveaux territoriaux, allant des forages d'eau individuels à un système aquifère, et même à un bassin versant ou au niveau national. Quelques exemples d'institutions de gestion de l'eau pour l'implication des parties prenantes en Afrique sont donnés dans les paragraphes suivants.

Les Associations d'utilisateurs d'eau (AUE) dans les collectivités locales aident à distribuer les eaux souterraines des forages ou des sources à leurs membres pour les usages domestiques et d'irrigation, à percevoir des redevances d'exploitation et aider au règlement des conflits d'eau conformément aux règles coutumières. En principe, les associations d'usagers représentent les intérêts des utilisateurs et assurent un accès équitable et l'approvisionnement en eau fiable et rentable. Souvent, la mission des AUE est limitée à l'exploitation et la maintenance de l'approvisionnement en eau et des systèmes de distribution, et sont faiblement concernées par la gestion et la protection de la ressource. Il est important d'élargir leur mandat (ou de créer des organisations spéciales) pour adresser la gestion et la protection des ressources en eau



souterraine avec des droits et devoirs (formels ou informels) juridiques reconnus, et leur donner une personnalité juridique, de manière à faciliter leur travail et permettre des relations contractuelles avec les agences locales de réglementation de l'eau et du sol. Dans certains cas, les AUE sont concernées à la fois par les eaux de surface et souterraines, et ici les droits et devoirs spécifiques des utilisateurs des eaux souterraines doivent être clairement définies. En outre, les associations d'utilisateurs ont besoin d'avoir une certaine autonomie en matière de gestion des eaux souterraines locales, tout en respectant les politiques et la réglementation des organismes de gestion de l'eau à l'échelle supérieure, tels que les organismes de bassins versants.

D'autres formes d'organisations locales d'utilisateurs de l'eau sont les groupes d'utilisateurs de l'eau souterraine (GWUGs) et les comités villageois d'adduction d'eau (VWSCs). Ils jouent souvent un rôle clé pour l'approvisionnement en eau d'irrigation et la protection de l'alimentation en eau potable (et dans certains cas, l'assainissement) dans les zones rurales; leurs rôles peuvent être étendus pour gérer la demande et accroître l'offre. Dans le cas de petits aquifères et / ou de situations avec des capacités institutionnelles faibles du gouvernement, des organisations non-gouvernementales (ONG) peuvent être d'une grande aide pour la promotion de la participation des parties prenantes et la gestion des eaux souterraines; mais elles ont besoin d'être soutenues ou supervisées par l'agence locale ou régionale en charge des ressources en eau

Dans le cas de grands aquifères très productifs, qui présentent souvent beaucoup plus d'intérêts divers, la participation de haut niveau des parties prenantes grâce à une organisation de gestion des aquifères (AMOR) est nécessaire et doit inclure tous les AUE locales, GWUGs et VWSCs, et d'autres acteurs principaux. Les AMORs devraient également comprendre des représentants des agences nationales et / ou locales des ressources en eau (souterraine) et l'autorité du gouvernement local correspondant, et dans certaines circonstances, peuvent (et doivent) être formées à l'initiative de l'administration nationale de l'eau, en particulier lorsque les zones où des eaux souterraines sont dans un état critique.

Identification et délimitation des zones de gestion des eaux souterraines (GMA)

Indépendamment de la taille de l'aquifère, la participation des parties prenantes doit être définie de façon cohérente autour de nappes d'eau souterraine. La détermination des limites adéquates d'une nappe d'eau souterraine (zone de gestion des eaux souterraines) est essentielle pour une organisation de gestion (AMOR); c'est tout aussi valable pour les formes les plus simples d'organisations s'activant dans les petits aquifères. Ce ne sera pas facile pour les grands systèmes aquifères, qui ont de faibles gradients hydrauliques; dans ce cas, la subdivision en sous bassins devra être faite aussi logiquement que possible. Lorsque la nappe d'eau souterraine ainsi définie fait partie d'un système aquifère plus grand, il est important d'établir des mécanismes institutionnels pour intégrer la gestion des eaux souterraines et la participation des parties prenantes au niveau du système.

Comme la plupart des systèmes aquifères peu profonds sont interconnectés avec les systèmes d'eau de surface, les AMORs (ou organismes équivalents) devraient être représentés au sein des organismes de bassin (ce qui ne se produit à l'heure actuelle presque jamais). En outre, les représentants des différentes catégories d'acteurs prin-

Quels types d'organismes et unités de gestion de l'eau (souterraine) sont applicables à votre pays / bassin?



cipaux des eaux souterraines devraient être appelés à se prononcer sur les décisions politiques de haut niveau, à l'échelle de la commission du bassin versant national. Dans la figure 7.1, un schéma du cadre institutionnel pour le Zimbabwe, basé sur les bassins versants, présente les différents niveaux de représentation et de degrés d'interaction, qui peuvent varier quelque peu selon le cas spécifique. La représentation des parties prenantes au niveau supérieur est régie par des procédures officielles dans les AUE et les Conseils de bassins versants.

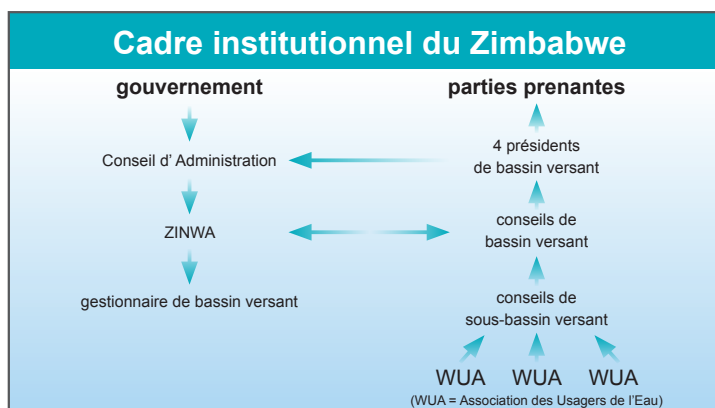


Figure 7.1: Un exemple de cadre institutionnel pour la participation des parties prenantes

7.5 Fonctions des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines

Il ya plusieurs façons dont les parties prenantes peuvent participer à la gestion des ressources en eaux souterraines et les systèmes aquifères (tableau 7.4). Certaines mesures sont relativement faciles à mettre en œuvre et à appliquer localement (maintenir une distance entre les forages d'eau ou des restrictions de certains types de cultures). D'autres mesures nécessitent davantage de coordination (comme le suivi, la définition des objectifs) et seront plus faciles à mettre en œuvre si les AMORs, GWUGs, AUE (et les ONG locales agissant en leur nom) sont reconnues et soutenues par l'agence locale en charge des ressources en eau (souterraine) et par les communautés utilisatrices.

Tableau 7.4: Fonctions couramment effectuées ou soutenues par les parties prenantes dans les schémas participatifs de gestion des eaux souterraines

Fonctions des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines	Echelle à laquelle la fonction est effectuée		
	Association des Usagers	Agence de gestion	Autorité Nationale
Maintenir l'approvisionnement et la distribution	😊		
Collecter les redevances d'usage	😊		
Contrôle et suivi des nappes	😊	😊	
Etablir des règles sur l'utilisation de l'eau	😊	😊	
Contrôler l'utilisation de l'eau	😊	😊	
Mettre en œuvre la protection des nappes		😊	
Participer à la définition d'objectifs		😊	
Régler les différends sur les eaux souterraines		😊	😊



Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

7.6 Qui sont parties prenantes des eaux souterraines pour les organismes de bassins transfrontaliers?

Les principales parties prenantes de la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassins transfrontaliers sont généralement très différentes de celles que l'on a dans un bassin versant interne ou national. Les autorités des bassins versants internes, normalement coopèrent avec différents groupes d'utilisateurs d'eau souterraine, qui sont des communautés qui s'engageront dans les différents organismes de gestion participative des parties prenantes, à différents niveaux et à différentes échelles.

Pour les OBT, il n'y a presque jamais de lien direct ou interaction avec les utilisateurs réels des eaux souterraines. Les parties prenantes de la gestion des eaux souterraines transfrontalières, seront presque toujours les autorités nationales de l'eau dans les pays riverains et il aura probablement pas une interaction directe avec les autorités sur les questions de gestion des eaux souterraines transfrontalières. Même au conseil de bassin versant et au niveau du conseil de sous-bassin versant, il y aura probablement très peu ou pas d'interaction directe avec l'OBT.

Néanmoins les OBT ont un rôle vital dans la gestion des eaux souterraines transfrontières, car ils peuvent en premier lieu servir de canal officiel pour la présentation des impacts transfrontaliers des pompages d'eau souterraine ou de la pollution des nappes dans les Etats riverains. L'OBT peut fournir un cadre officiel légalement constitué, où les autorités nationales sur les eaux souterraines peuvent porter ces questions, et où leur résolution peut être entamée.

L'OBT fournit un édifice institutionnel approprié où la gestion des eaux souterraines transfrontalières peut avoir lieu, par le biais d'instruments tels que :

- le maintien d'une base de données transfrontalière pour les aquifères ;
- des instruments de planification et de directives sur le contrôle des prélèvements, des niveaux et de la qualité de l'eau ;
- des modèles interactifs de nappes d'eaux souterraines transfrontières pour les aquifères concernés ;
- la mise en place d'allocations de prélèvements et de limites de rejet des effluents et ;
- une plateforme pour le règlement des différends.

7.7 Qu'est-ce que la communication et pourquoi est-elle importante dans la gestion des eaux souterraines?

La communication va au-delà de la gestion de l'information et traite de toutes les interactions nécessaires entre les parties prenantes dans la gestion des ressources en eaux souterraines.

Est-ce que un matériel de communication sur l'eau souterraine est produit dans votre bassin? Est-il assez clair pour les responsables politiques, les décideurs et autres parties prenantes?

Ici, nous traitons principalement de question de communication et de consultation sur les eaux souterraines avec les parties prenantes afin de favoriser leur participation à la gestion locale (et au-delà) de la ressource.



Il existe deux types principaux de communication pour la participation des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines :

- La première a trait à générer une compréhension claire de la ressource en eau souterraine, comment elle existe, comment elle se recharge, la façon dont elle répond aux prélèvements, comment elle réagit à la pollution, etc. Ce type de communication est principalement éducatif afin que les parties prenantes soient à même de comprendre la ressource qui est vitale pour elles.
- La seconde est axée sur comment informer la partie prenante qui participe à la gestion des eaux souterraines (en particulier celle qui utilise la ressource), sur les résultats du suivi des niveaux d'eau, la conformité avec les allocations de prélèvement, la qualité de la ressource en eau souterraine, la recharge. Cela entretient leur intérêt continu pour aider à gérer la ressource, car elles peuvent voir les effets de leur participation à la gestion et à l'application de la réglementation.

Le défi principal, c'est de transmettre et de discuter les concepts de base de l'eau souterraine, on se rendra compte des idées fausses et fréquentes qui circulent parmi les parties prenantes qui n'ont aucune notion sur les nappes d'eau souterraine et l'hydrogéologie.

Des «mythes» typiques sur les eaux souterraines sont décrits dans GWMate Note d'information no. 2; on peut y noter des «malentendus» comme «la ressource en eau souterraine est inépuisable si on considère les prélèvements», ou «le pompage des eaux souterraines est sans impacts en aval». Les professionnels des eaux souterraines doivent communiquer sur une ressource invisible, avec des parties prenantes, aussi bien au niveau politique, qu'au niveau de l'utilisateur local («hors de vue du public, hors de l'esprit du politique»).

- Les concepts de base de la communication sur l'eau souterraine sont : Les parties prenantes ne sont pas experts en eaux souterraines et ont des intérêts, un vécu, et des expériences différentes. En communiquant sur le message de l'eau souterraine, il faut être conscient qu'il y a des perceptions, des intérêts et des points de vue différents entre les parties prenantes, ce qui devrait être pris en compte lors de la conception d'une stratégie et du matériel de communication (figure 7.2).
- L'image de l'eau souterraine change. Dans les premiers stades d'exploitation, la ressource semble être infinie et il y a peu ou pas d'incitation pour la gestion. Les besoins de gestion surviennent généralement lorsque la pression sur des ressources augmente et les conflits entre les utilisateurs surviennent. Si la gestion et la réglementation ne sont pas introduites efficacement (ou seulement partiellement) cette pression sur la ressource va perdurer. Puisque la ressource est invisible et les processus physiques ne sont pas bien compris, les gestionnaires de l'eau et les utilisateurs peuvent développer des perceptions négatives qui renvoient l'image d'une eau souterraine liée à des problèmes et des contraintes. Les experts en eau souterraine sont généralement appelés à apprécier la ressource lorsque des problèmes surviennent, et en ce moment une gestion active devient essentielle pour évaluer la faisabilité technique et hydrologique des options de gestion. Cela peut se faire grâce à une communication rapide et participative, et par le dialogue avec les parties prenantes. Cela peut se faire aussi par la compréhension des questions spécifiques et par la présentation des informations ciblées sur la



recharge des nappes, sur le débit et la décharge pour la zone en question, d'une manière simple en utilisant des graphiques et / ou des simulations de modèle, qui peuvent être comprises par des non professionnels des eaux souterraines.

Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

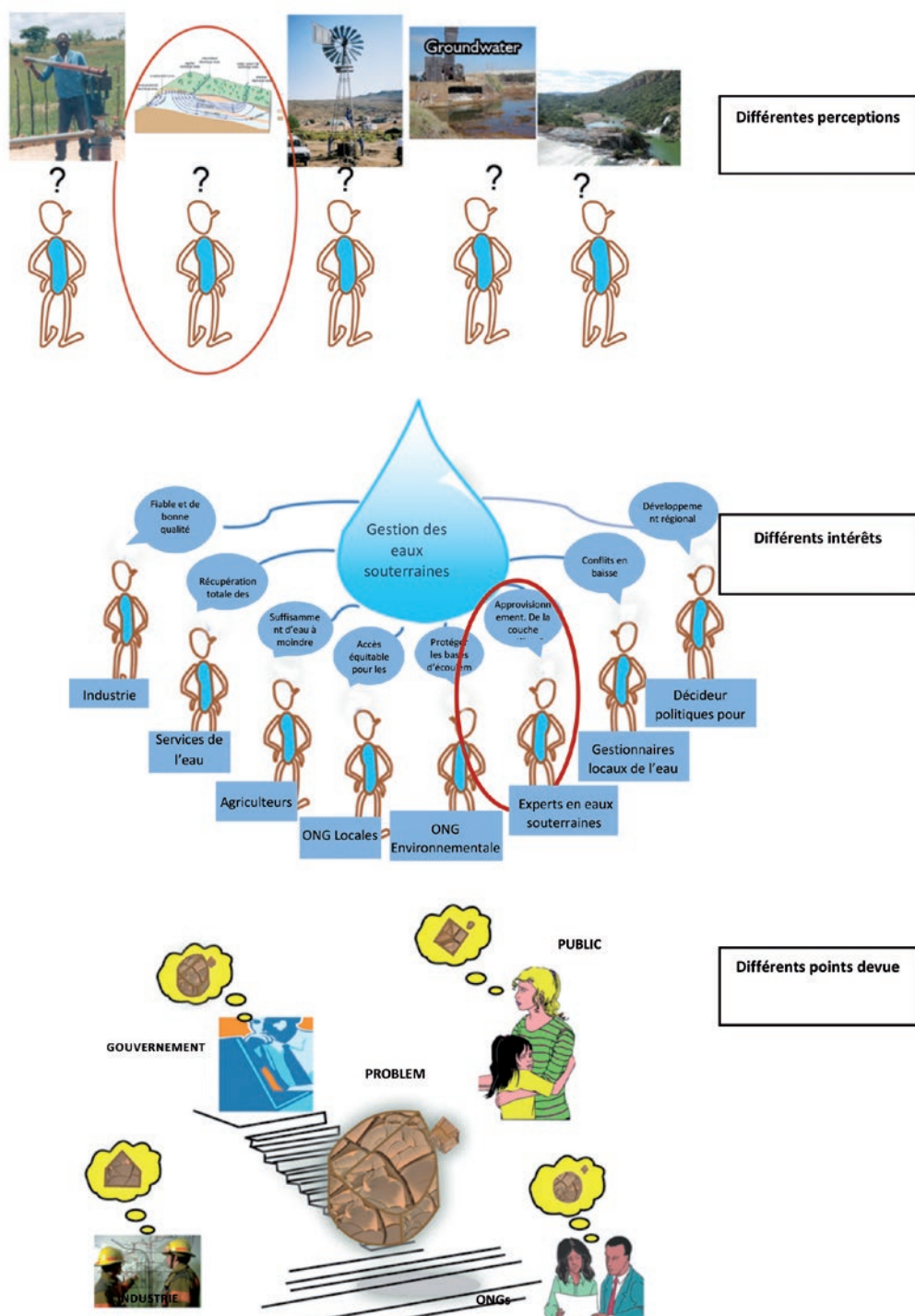


Figure 7.2 Communication avec les parties prenantes : différents intérêts et différentes perceptions

Les différents modes de communication reflètent ces conditions :

- personne à personne - face à face, lisant une lettre, faire un appel téléphonique
- dans un petit groupe - la planification, la résolution de problèmes, la prise de décision, des rapports écrits, des notes de service, des panneaux d'affichage



- lors d'une réunion - la présentation, le marchandage, la négociation d'accords
- l'utilisation des médias de masse - parler en public, à la radio ou à la télévision, écrire pour la presse écrite tels que les journaux et les revues, les livres, la publicité
- communication Internet
- expositions
- autres - formation, enseignement, divertissement

Il y a une large gamme de matériaux disponibles pour les différents modes de communication allant des livres, documents, rapports aux dépliants, brochures, panneaux d'affichage, des films ou des animations et autre matériel audio-visuel. Puisque les experts en eaux souterraines ne sont généralement pas formés à la communication, il est fortement conseillé de consulter un spécialiste de l'information pour la conception d'un plan de communication et de choisir les méthodes et les matériaux les plus appropriés, compte tenu du type de communication nécessaire. Quelques recommandations générales en ce qui concerne le choix des matériaux de communication sont :

- Une photo / schéma simple en dit plus que 1000 mots
- Les dessins animés sont un moyen efficace de traiter les concepts clés et les idées fausses (figure 7. 3)
- Animations et vidéos : comme le «Water Channel», qui contient un grand nombre de vidéos sur la gestion de l'eau, y compris plus de 20 sur les eaux souterraines ³.



Figure 7.3 : Bande dessinée sur le site Know With the Flow : <http://www.knowwiththeflow.org/>

Des compétences en communication sont essentielles dans le processus et concernent la façon dont nous agissons et nous nous comportons dans notre communication. Celles-ci comprennent la présentation orale, la présentation écrite et la communication non-verbale.

³ <http://www.thewaterchannel.tv/>



Le matériau dans une présentation doit être concis, ciblé et doit raconter une histoire intéressante et pertinente pour les parties prenantes. En plus des choses évidentes comme le contenu et les aides visuelles, les éléments suivants sont tout aussi importants tant le public pourrait inconsciemment bien les prendre :

- Votre voix - la façon dont vous le dites, est aussi importante que ce que vous dites
- Le langage du corps - les mouvements de votre corps expriment ce que sont vos attitudes et vos pensées
- Apparence - les premières impressions influencent les attitudes du public envers vous. Habillez-vous convenablement pour l'occasion

Comme avec la plupart des compétences personnelles, la communication orale ne peut être enseignée. Les instructeurs peuvent seulement montrer la voie. Donc, comme toujours, la pratique est essentielle, tant pour améliorer vos compétences en général, et aussi pour réussir chaque présentation individuelle et les échanges auxquels vous êtes impliqué.

7.8 Autres lectures

Cap-Net, 2008.

Integrated Water Resources Management for River Basin Organisations.

<http://www.cap-net.org/node/1494>

GW•MATE, 2010,

Briefing Note 2, 6 and Briefing Note 7.

<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,content-MDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSite-PK:4602123,00.html>

Meta Meta,

participatory groundwater management

<http://www.groundwatermanagement.org>

<http://www.knowwiththeflow.org/>



Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

7.9 Exercice

Participation des parties prenantes dans la gestion des eaux souterraines.

- La Ville de H n'a pas été en mesure de fournir de l'eau domestique dans une banlieue de faible densité depuis 10 ans en raison de la dégradation du réseau de distribution.
- La plupart (75%) des résidents ont eu recours au forage de production pour l'approvisionnement en eau domestique et d'autres usages, parfois sans permis. Il n'y a pas de contrôle sur les prélèvements et le prélèvement total n'est pas connu.
- Dans la zone, il ya l'utilisation commerciale des eaux souterraines : 1) un vendeur de pépinière / plantes, 2) une fabrique de briques et une installation de lavage de sable / gravier et 3) deux vendeurs d'eau en en détail, qui vendent de l'eau souterraine à la population locale et au-delà de 10 \$ par m3 livré.
- En outre, une décharge municipale non délimitée recevant les déchets non triés situés aux environs de la zone, est potentiellement polluante pour les eaux souterraines.
- Les niveaux d'eau ont diminué de telle sorte que les puits peu profonds (<30 m de profondeur) ont tari. Le débit et la qualité de l'eau ont diminué dans la plupart des régions.
- De nombreux résidents doivent acheter de l'eau auprès des vendeurs d'eau dans des bidons.
- Le système des eaux souterraines est un aquifère libre fracturé formé de roches cristallines, avec un stockage limité et une recharge incertaine.
- La communauté scientifique a indiqué que l'utilisation des eaux souterraines doit être réduite de 50% pour atteindre une stabilisation des niveaux d'eau de l'aquifère.
- Une zone de gestion des aquifères, hydrauliquement cohérente (AMA) a été désignée par le conseil de bassin versant.
- Les parties prenantes sont (les participants au cours sont appelés à jouer les rôles des divers groupes de parties prenantes)
 - Le conseil de bassin responsable de la gestion de l'eau dans le bassin versant
 - Les utilisateurs commerciaux des eaux souterraines
 - Les vendeurs d'eau
 - Les résidents comme utilisateurs d'eau domestique
 - La communauté scientifique / technique
 - Les autorités de la ville



Le rôle de la participation des parties prenantes et communication dans la gestion des eaux souterraines

- Chaque groupe d'acteurs doit préparer une liste de leurs trois (3 seulement) questions prioritaires et les justifier. (5 minutes par groupe de parties prenantes, pas de débat à ce moment : 30 minutes au total)
- Chaque groupe d'acteurs doit offrir une (1 seulement) solution préférée à chacune de leurs questions clés et d'expliquer comment cela va aider à atteindre les objectifs souhaités de l'approvisionnement en eau et de protection des aquifères. Les questions de suivi et de conformité doivent être adressées dans les solutions proposées. (5 minutes par groupe de parties prenantes, pas de débat à ce moment : 30 minutes au total)
- Discussion générale du problème, les questions soulevées, les solutions offertes, etc (30 minutes à 1 heure - en fonction du facilitateur.)
- Après la discussion générale, chaque groupe de parties prenantes prépare un court document sur les rôles particuliers de ce groupe de parties prenantes dans la gestion future de la ressource en eau souterraine : la détermination de l'allocation; types d'usages prioritaires; financement des coûts de gestion; suivi (conformité des prélèvements et niveau de l'eau); la gestion et la planification de l'exploitation; communication et diffusion de l'information. (1 à 3 pages) - à faire le soir et compte rendu le lendemain: 5 minutes par groupe de parties prenantes.



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



LES RISQUES LIÉS À L'EAU SOUTERRAINE





MODULE 8

Les risques liés à l'eau souterraine

8.1	Introduction	4
8.2	Quantité de l'eau souterraine : la surexploitation	5
8.3	Qualité des eaux souterraines: la pollution	8
8.4	Évaluation de la pollution des eaux souterraines, la vulnérabilité des aquifères et la surexploitation	11
8.5	Protection des eaux souterraines	14
8.6	Résumé	16
8.7	References	18
8.8	Exercices	19

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa
(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe





LES RISQUES LIÉS À L'EAU SOUTERRAINE

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Évaluer le risque de pollution des eaux souterraines et la dépréciation de la quantité

Protéger les eaux souterraines contre la pollution et la surexploitation

8.1 Introduction

Dans les conditions naturelles, l'eau souterraine est généralement potable et ne nécessite quasiment pas de traitement avant la distribution et l'utilisation. La bonne qualité de l'eau est le résultat de la protection des sols et des roches dans la zone non saturée au dessus de la nappe phréatique. Ils filtrent les bactéries et protègent les eaux souterraines des contaminants en surface. Mais l'entrée massive de polluants générés par l'agriculture moderne, l'industrie et le manque d'installations d'assainissement peut dépasser la capacité de la zone non saturée à filtrer les contaminants et protéger les eaux souterraines. Une fois la nappe souterraine est polluée, la décontamination est une tâche très coûteuse et de longue durée. En raison du très long décalage qui pourrait avoir lieu avant qu'un impact de la pollution sur la ressource soit perceptible, la bonne gestion des aquifères, avec des activités de prévention de la pollution, sont d'une grande importance.

Dans le cas des aquifères transfrontaliers, l'utilisation durable des eaux souterraines est souvent entravée par le manque de mécanismes juridiques et institutionnels, d'où un manque de gestion commune de ces aquifères. Pour activer la coopération entre les pays voisins, des mécanismes juridiques et institutionnels nécessaires ainsi que des capacités au niveau national, doivent d'abord être mis en place. L'élaboration et la mise en œuvre d'instruments juridiques appropriés et des outils de gestion pour la protection des ressources du Bassin, constituent encore quelques-uns des aspects difficiles concernant la gestion des aquifères transfrontaliers. Les premières étapes à suivre sont l'identification de ces aquifères et la formulation d'instruments appropriés pour renforcer la coopération pour la gestion durable et intégrée de ces ressources, et leur utilisation pour en tirer les avantages socio-économiques.

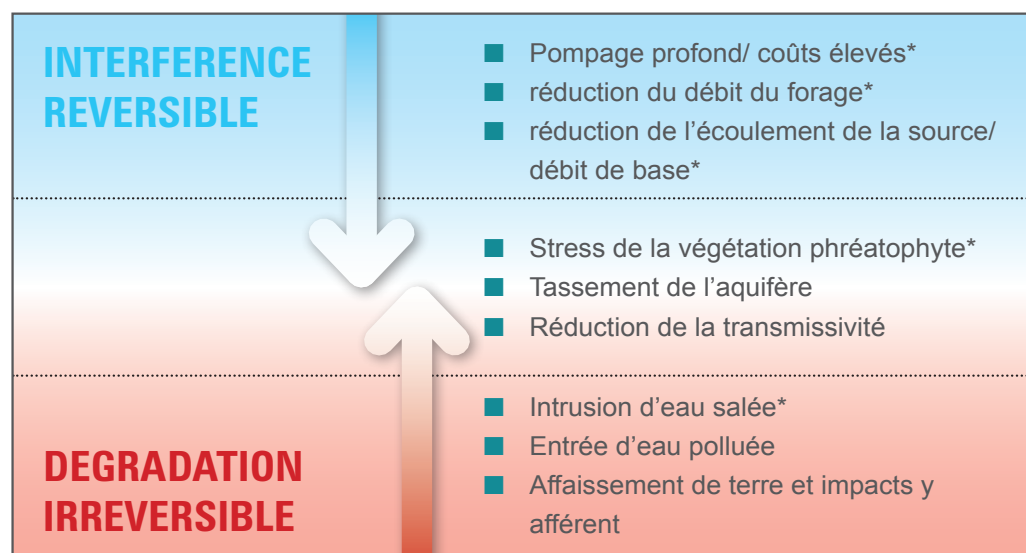
Ce module examine les aspects de la quantité et la qualité des nappes d'eau souterraine, et identifie les options de gestion de l'eau afin de préserver et protéger les ressources en eau souterraine.



8.2 Quantité de l'eau souterraine : la surexploitation

La croissance élevée de la population a pour conséquence un besoin accru en eau pour la production agricole et le développement industriel, qui, à terme conduit à plus de pompage des eaux souterraines à l'échelle mondiale (PNUE, 2003; FAO, 2003; Burke et Moench, 2000). Un pompage en hausse peut conduire à la baisse extrême des niveaux des nappes d'eau. Les impacts de la surexploitation des eaux souterraines sont nombreuses et souvent irréversibles (Figure 8.1). Les impacts directs sont :

1. La baisse des niveaux / pressions de l'eau souterraine;
2. La réduction de la décharge des nappes au profit des sources, du débit de base des cours d'eau et des écosystèmes aquatiques;
3. La détérioration de la qualité des eaux souterraines (salinisation) à la suite de l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers et le soulèvement de l'interface eau douce / eau salée (up-coning) de nappe salée profonde;
4. L'affaissement de la surface terrestre ;



* l'importance des impacts varie considérablement en fonction de la sensibilité de l'aquifère au pompage intensif - et certains impacts commencent bien avant le niveau où le volume total des prélèvements dépasse celui de la recharge à long terme de l'aquifère

Figure 8.1: Conséquences de prélèvements excessifs des eaux souterraines. Source: GW-Mate

Impacts de la surexploitation des eaux souterraines

Théoriquement, la surexploitation des aquifères est atteinte lorsque le taux de prélèvement dépasse celui de la recharge à long terme. En pratique cependant, la surexploitation est toujours beaucoup plus liée aux conséquences des prélèvements intensifs des nappes (figure 8.1), qu'au niveau absolu de ces dernières. Ainsi, la définition la plus appropriée pour la surexploitation est probablement qu'elle est atteinte lorsque les coûts globaux des impacts négatifs de l'exploitation des eaux souterraines dépassent les bénéfices nets de leur utilisation, bien que ces effets ne soient pas toujours faciles à prévoir et / ou à quantifier en terme monétaire. Il est également important de souligner que certains de ces effets négatifs peuvent survenir bien avant que le taux de prélèvement des eaux souterraines ne dépasse la recharge moyenne à long terme. Par conséquent, la façon dont la surexploitation est interprétée varie avec le type de système aquifère concerné, les questions essentielles étant le volume de stockage exploitable et la sensibilité des aquifères aux effets secondaires irréversibles lors d'exploitation intensive à court terme.

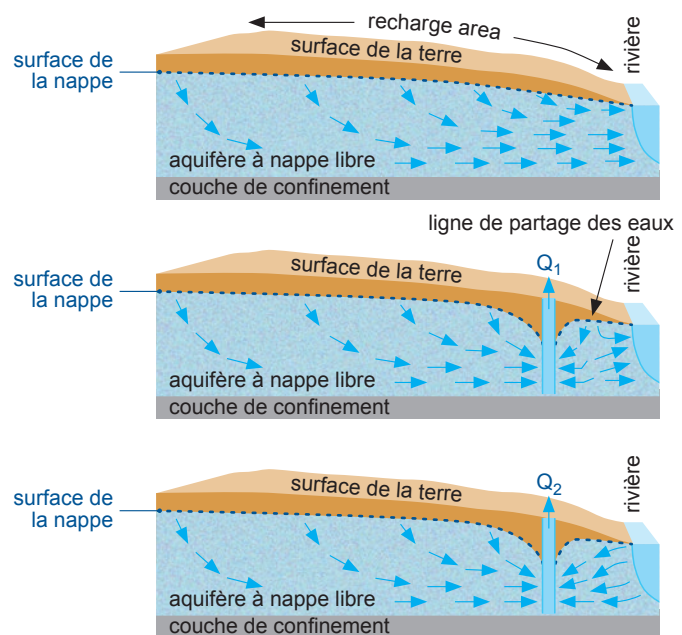


Abaissement des niveaux / pressions de l'eau souterraine

L'abaissement de la nappe d'eau est un processus relativement lent. Contrairement à l'eau de surface, la nappe d'eau souterraine ne s'abaisse pas simultanément dans l'ensemble de l'aquifère, mais dans les environs immédiats du forage. Le temps d'écoulement de l'eau souterraine est beaucoup plus faible que celui de l'eau de surface, en raison de son mouvement à travers les pores et les fissures. Lorsque les forages pompent l'eau de ces aquifères, le niveau de la nappe près des forages/puits baisse sous la forme d'un cône de dépression. Dans ce cône de dépression, l'eau souterraine s'écoule vers le forage. Si deux cônes de dépression se chevauchent, il y a interférence entre les forages, et le volume d'eau disponible pour chaque forage se réduit. L'interférence des forages peut être un problème quand de nombreux forages sont en concurrence pour l'eau de la même nappe, en particulier à la même profondeur.

Un pompage de longue durée à des taux élevés pourrait causer une baisse irréversible des nappes d'eau, réduisant la décharge vers les plans d'eau de surface (Figure 8.2).

Figure 8.2 : Un pompage continu à des taux élevés abaisse le niveau de la nappe, réduisant la décharge de l'aquifère vers la rivière (au milieu). Il peut aussi conduire à une inversion du sens d'écoulement avec l'eau de la rivière qui atteint le forage. Source: US Geological Survey, modifié



Les cônes de dépression apparaissent uniquement dans les aquifères libres, qui sont des aquifères qui ont une connexion hydraulique directe avec l'atmosphère. Dans le cas d'aquifères captifs, c'est la pression de l'aquifère qui diminue sous la forme d'un cône, plutôt que le niveau de l'eau.

Dans le cas d'aquifères transfrontaliers, le problème de l'épuisement des eaux souterraines s'applique principalement aux systèmes aquifères profonds, qui sont la plupart du temps captifs. Il s'agit d'un problème majeur parce que généralement ces aquifères ne reçoivent que peu ou pas de recharge, par exemple, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Les prélèvements élevés, nécessaires pour l'irrigation, sur de longues périodes de temps conduisent à la baisse définitive des niveaux d'eau souterraine. Ce problème peut être observé de façon impressionnante dans le désert



de l'Arabie Saoudite. Des images satellitaires Landsat montrent une augmentation de la superficie agricole de 1987 à 2012 (figure 8.3). En raison de l'absence de recharge, l'augmentation de l'irrigation a provoqué la chute du niveau de la nappe (FAO, 2009). Sur le long terme, cela va aussi affecter les ressources en eau souterraine dans les pays voisins, comme la Jordanie. Récemment la Jordanie a également commencé à pomper le même aquifère pour fournir de l'eau à la ville d'Amman, et cela exacerbe la situation.

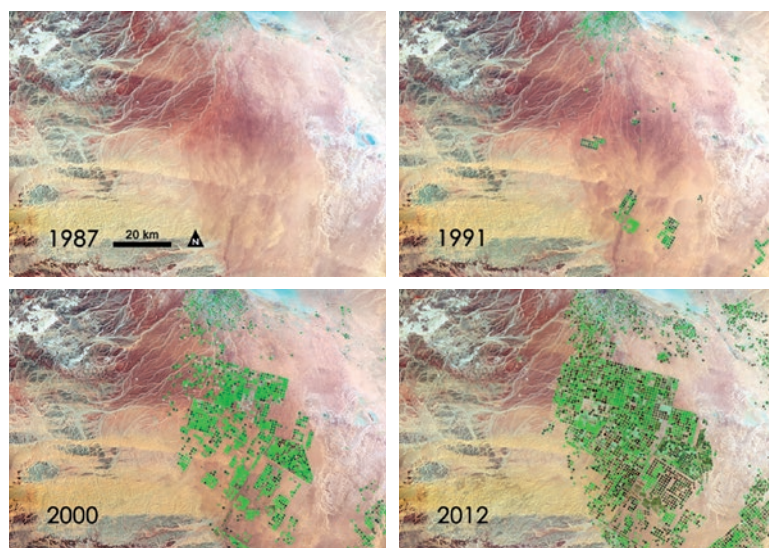


Figure 8.3: L'étendue de la zone agricole dans le désert de l'Arabie Saoudite à la frontière de la Jordanie de 1987 à 2012. Les points verts sont les zones irriguées utilisant les eaux souterraines. Source: USGS

Réduction de la décharge de la nappe vers les sources, le débit de base des cours d'eau et des écosystèmes aquatiques

Les systèmes d'eau de surface et souterraine interagissent souvent étroitement (voir module 3 «caractérisation des aquifères»). Les eaux souterraines fournissent le débit de base de la rivière, même dans les périodes de sécheresse et fournit aux écosystèmes l'eau douce (module 3). Lorsque l'eau souterraine est pompée de façon excessive, les décharges de surface comme les sources, les débits de base et les émergences ont tendance à tarir, parfois de façon permanente, dégradant les écosystèmes tributaires des eaux souterraines et réduisant ainsi l'eau souterraine pour les communautés d'utilisateurs.

L'affaissement du sol

La subsidence est encore un autre effet particulièrement répandu du pompage excessif, avec quelques exemples notables dans un certain nombre de grandes villes en Chine, au Japon, au Mexique et aux États-Unis (figure 8.4). L'affaissement du sol se produit lorsque des quantités excessives d'eau souterraine ont été retirées d'un aquifère poreux. En conséquence, les matériaux aquifères poreux se compactent et s'affaissent, ce qui entraîne un abaissement de la surface du sol dans la zone (www.sjra.net). L'affaissement du sol peut entraîner de nombreux problèmes tels que : les changements de l'élévation de la surface du sol ; des dommages à des structures telles que les canalisations d'eau pluviale et d'eau usées, routes, chemins de fer, canaux, digues et ponts; des dommages structurels aux bâtiments publics et privés; et des dommages aux forages. Le plus souvent, cependant, l'affaissement augmente le risque d'inondation.



Figure 8.4: Affaissement de terrain dans la vallée de San Joaquin, en Californie, USA. Source: www.sjra.net



La salinisation

Le sur-pompage des aquifères d'eau douce dans les zones côtières peut provoquer l'intrusion d'eau saline dans les zones d'eau douce des aquifères. Cela se produit par le soulèvement de l'eau salée et le mélange avec de l'eau douce, donnant lieu à une salinisation irréversible de l'aquifère (voir section 8.3 et figure 8.7). Il s'agit d'un problème majeur pour un grand nombre de villes côtières dans le monde entier.

8.3 Qualité des eaux souterraines: la pollution

Lorsque l'on considère la qualité des eaux souterraines et leur dégradation, il faut faire la différence entre la contamination naturelle et anthropique. Dans la plupart des cas l'eau souterraine est naturellement potable, et ne nécessite pas de traitement. Il y a quelques exceptions à travers le monde, où l'eau souterraine naturelle a des concentrations de divers matériaux solubles à des niveaux qui sont nocifs pour la santé humaine, animale ou végétale. Un cas bien connu est la forte concentration en arsenic de la nappe au Bangladesh. La salinisation est aussi un exemple de contamination naturelle, mais elle est très souvent aggravée par les activités humaines. Il semble que dans le contexte africain, la plupart des problèmes de qualité des eaux souterraines sont liés à :

- La baisse de la qualité des eaux souterraines en milieu urbain, en raison d'une combinaison de fuite de latrines / fosses septiques et des rejets d'effluents non contrôlés de l'industrie, des eaux usées et des zones d'enfouissement municipales.
- La salinisation des eaux souterraines due à un excès de prélèvement pour l'irrigation, conduisant à une baisse de qualité des eaux souterraines
- L'intrusion saline en raison de l'abaissement de la nappe par des forages de production d'eau non loin ou dans les zones côtières.

Les risques naturels de qualité des eaux souterraines

Les eaux souterraines se minéralisent à des degrés divers en raison des interactions sol/roche-eau, ce qui conduit à la dissolution de certains minéraux et éléments chimiques. Neuf principaux constituants chimiques (Na, Ca, Mg, K, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, Si) représentent 99% de la teneur en soluté de l'eau souterraine naturelle.

Le degré de dissolution dépend de la longueur de la trajectoire, du temps de séjour, la solubilité des minéraux du sol / roche et la quantité d'eau (douce) de dilution par la recharge. Les réactions de l'eau de pluie dans le profil de sol / roche au cours de l'infiltration fournissent aux eaux souterraines sa composition en minéraux essentiels. L'eau souterraine dans les zones de recharge des régions humides est susceptible d'avoir une minéralisation globale faible, par rapport aux régions arides ou semi-arides où la combinaison de la concentration par évaporation et le mouvement plus lent de l'eau souterraine, peut produire des concentrations beaucoup plus élevées.

Sous certaines conditions et dans certains géo-environnements, des éléments naturellement présents, mais dangereux entrent en solution à des concentrations excessives :

- L'arsenic (As) est un élément de trace qui donne actuellement beaucoup de préoccupations dans les eaux souterraines, car étant à la fois toxique et cancérigène, à de faibles concentrations
- Le fluor (F) est un élément qui est parfois absent, mais à des concentrations excessives, il peut être un problème, surtout dans les climats arides et dans les roches volcaniques et granitiques



- Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sous forme soluble sont très répandus, là où les conditions anaérobies des eaux souterraines se posent. Lorsque l'eau est extraite, le manganèse et le fer s'oxydent, donnant lieu à un goût et / ou à une couleur inacceptable des eaux souterraines. Alors que Fe n'est pas un danger pour la santé, la consommation d'eau à des concentrations élevées de manganèse, pourrait avoir des effets neurologiques sur les êtres humains. L'OMS a fixé la limite supérieure de la concentration de Mn dans les eaux souterraines à 0,4 mg/l

On peut rencontrer diverses autres éléments de trace (y compris notamment Ni, U et Al) dans les conditions naturelles dans les nappes d'eau souterraine; ils sont cités par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme potentiellement dangereux dans l'eau potable.

Si des éléments de traces toxiques excessifs sont présents dans une réserve potentielle d'eau souterraine, alors un plan d'urgence doit être mis en œuvre et une stratégie à long terme identifiée. Le plan d'urgence est susceptible de comprendre ce qui suit :

- L'évaluation hydro-géochimique de l'aquifère à une échelle appropriée;
- Des orientations à la communauté sur les restrictions d'utilisation et les endroits sûrs pour l'implantation de forages d'eau;
- Des programmes de santé communautaires pour rechercher des symptômes liés à l'eau potable.

Pollution anthropique

Dans le monde entier, les aquifères sont confrontés à un risque croissant de pollution avec l'urbanisation, le développement industriel, les activités agricoles et les entreprises minières (Figure 8.5). Dans certains cas, il peut prendre plusieurs années avant que l'impact de la pollution par un contaminant persistant ne devienne tout à fait évident. Les eaux souterraines des forages profonds, ou des sources ou des écosystèmes tributaires des eaux souterraines, ont souvent une trajectoire d'écoulement longue qui peut prendre des décennies ou plus pour se déplacer de la zone de recharge à la zone de décharge. Cela peut conduire à la méprise de la menace de pollution. Malheureusement lorsque que les gens prennent conscience que la source d'eau souterraine est devenue polluée, de grands volumes de l'aquifère auront été généralement déjà contaminés. Des mesures d'atténuation ont alors tendance à être très coûteux et la réhabilitation est techniquement problématique et chronophage. Ces aquifères contaminés peuvent être impropres à l'utilisation pendant des décennies ou des siècles. C'est pourquoi les mesures de prévention telles que la protection des eaux souterraines doivent être intégrées dans les activités de planification de l'occupation des sols.

La pollution des eaux souterraines se produit si la charge de contaminants du sous-sol, générés par les émissions d'origine humaine (déversement de déchets, les rejets et fuites) est mal contrôlée, et dépasse la capacité d'atténuation naturelle des sols et couches sous-jacents. Les profils de sous-sol naturels atténuent activement de nombreux polluants de l'eau, et ont longtemps été considérés comme potentiellement efficaces pour l'élimination sûre des excréments humains et des eaux usées domestiques. L'auto-élimination des contaminants pendant le transport souterrain dans la roche / sol est le résultat de la dégradation biochimique et de la réaction chimique;



mais un mouvement retardé du contaminant (dû à la sorption sur les minéraux argileux et / ou matière organique) est également importante, car elle augmente considérablement le temps disponible pour les processus aboutissant à l'élimination du contaminant. Cependant, tous les profils de sous-sol et toutes les couches sous-jacentes ne sont pas aussi efficaces dans l'atténuation des contaminants, ce qui conduit à des risques de contamination des aquifères libres peu profonds (nappe phréatique).

Les menaces de pollution des eaux souterraines proviennent d'une variété de points différents et de sources de contamination non ponctuelles (figure 8.5 et tableau 8.1) provenant de sources industrielle, agricole, domestique (assainissement inadéquat), de stockage de carburant, médicale et d'autres sources courantes.

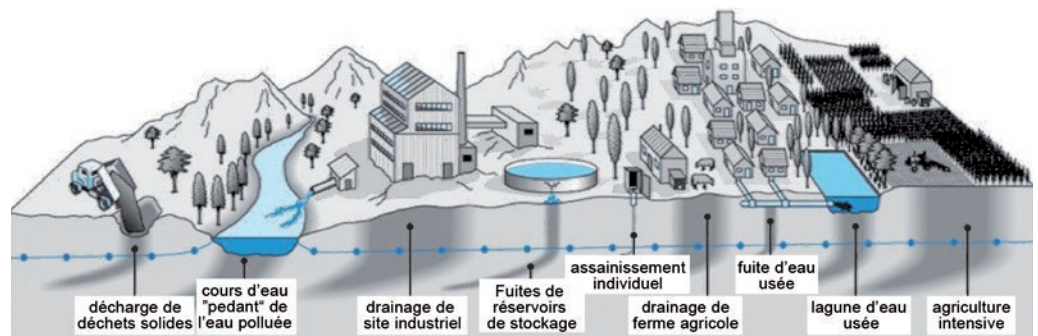


Figure 8.5: Différentes activités de l'occupation des sols qui génèrent fréquemment des menaces de pollution des eaux souterraines. Source: GW-MATE Briefing Note Series, Note 8, 2002-2006

Tableau 8.1: Certains contaminants courants des eaux souterraines et les sources de pollution associées. Source: GW-MATE Briefing Note Series, Note 8, 2002-2006

SOURCE DE POLLUTION	Type de contaminant
Activité agricole	les nitrates, ammonium, pesticides, organismes fécaux
Assainissement individuel	les nitrates, les organismes fécaux, hydrocarbures synthétiques de trace
Stations d'essence & Garages	benzène, d'autres hydrocarbures aromatiques, des phénols, des hydrocarbures halogènes
Enfouissement des déchets solides	ammonium, salinité, hydrocarbures halogènes, métaux lourds
Industries métalliques	trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, d'autres hydrocarbures halogènes, métaux lourds, des phénols, cyanures
Travaux de Peinture	alkylbenzène, tétrachloroéthylène, d'autres hydrocarbures halogènes, des métaux, quelques hydrocarbures aromatiques
Industrie du bois	pentachlorophénol, certains hydrocarbures aromatiques
Nettoyage à sec	trichloroéthylène, tétrachloroéthylène,
Fabrication de pesticides	divers hydrocarbures halogènes, des phénols, de l'arsenic
Vidange des boues d'eaux usées	les nitrates, les divers hydrocarbures halogènes, plomb, zinc
Tanneries	chrome, divers hydrocarbures halogènes, des phénols
Exploration / Extraction pétrolière et gazière	salinité (chlorure de sodium), les hydrocarbures aromatiques
Les mines de charbon et métallifères	acidité, divers métaux lourds, fer, sulfates



Salinisation des eaux souterraines

L'existence d'eau souterraine saline et le processus de salinisation des eaux souterraines peuvent provenir d'un certain nombre de mécanismes distincts, dont certains seulement sont les pompages liés et / ou associés à l'intrusion d'eau de mer.

Les principaux mécanismes de salinisation des eaux souterraines sont indiqués schématiquement à la figure 8.6; ils vont de la mobilisation d'eaux paléo-salines ou connées en profondeur, aux processus de surface liés, pour l'essentiel, à l'engorgement des sols due à la hausse du niveau des nappes phréatiques. Des investigations approfondies sont nécessaires pour diagnostiquer la présence d'eau souterraine saline, et d'évaluer la possibilité que ces processus se produisent lors d'un changement majeur ou progressif dans les prélèvements des eaux souterraines. On ne peut pas trop mettre l'accent sur cela, car une fois une hausse importante de la salinité ou de l'intrusion d'eau salée a eu lieu, il peut prendre un temps très long (des décennies ou même des millénaires) et un coût considérable pour y remédier; cela peut détruire les ressources en eau souterraine à la fois pour l'approvisionnement en eau potable et pour de nombreuses utilisations d'irrigation ou agricole.

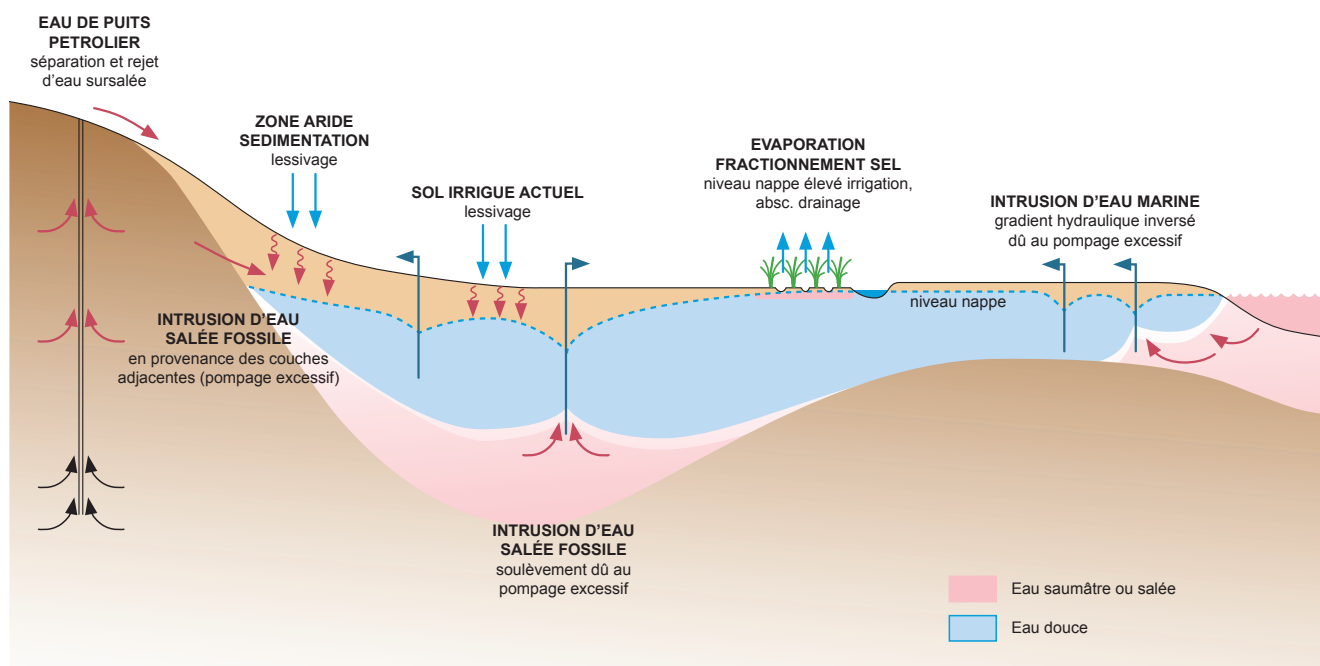


Figure 8.6: Salinisation comme effet possible de la surexploitation des eaux souterraines.

Source: GW-MATE

8.4 Évaluation de la pollution des eaux souterraines, la vulnérabilité des aquifères et la surexploitation

Pour protéger les eaux souterraines contre la pollution et la surexploitation, il est essentiel d'évaluer le contexte hydrogéologique et l'impact anthropique.

Pompage de l'eau souterraine et taux de recharge

À la lumière de toutes les considérations qui précèdent, il est évident que les gestionnaires des ressources en eau ont besoin d'avoir une estimation des prélèvements acceptables à partir d'un système de nappe d'eau souterraine.. Bien que, en réalité,



ces estimations puissent également être «trompeurs» parce que pour se faire, il est nécessaire d'avoir des jugements de valeur sur ce qui est «acceptable». Dans ce cas, les écosystèmes doivent également être considérés comme des parties prenantes qui sont tributaires de l'aquifère.

Pour évaluer un débit de sécurité, les quantités d'eau qui entrent (recharge) et qui sortent (décharge) du système des eaux souterraines doivent être estimées. Une composante importante du flux sortant, les prélèvements par pompage, varient en fonction de la demande humaine. Cependant, il ya souvent une incertitude scientifique substantielle sur la quantification de la recharge individuelle et sur les composantes de la décharge en raison de la complexité inhérente aux géo-systèmes naturels et d'une grande variabilité spatiale et temporelle des épisodes de précipitations et de ruissellement (y compris les cycles climatiques) ainsi que des prélèvements d'eau souterraine. Par conséquent les calculs du bilan des nappes d'eau souterraine dans de nombreuses régions devraient toujours être considérés avec prudence. Néanmoins, à des fins plus pratiques, il suffit de faire des estimations approximatives, et les affiner ensuite à travers le suivi du niveau des eaux souterraines et l'analyse de la réponse de l'aquifère aux prélèvements à moyen terme.

Il est toujours essentiel lorsque l'on tente d'évaluer les taux de recharge des eaux souterraines contemporaines d'apprécier l'importance des liens intimes entre l'occupation des sols et la recharge des nappes souterraines, qui est un élément essentiel de la gestion intégrée des ressources en eau. Le paradigme courant de «taux moyens constants de recharge actuelle de l'aquifère» est faux. En réalité, le taux actuel de recharge de l'aquifère varie considérablement avec :

- Les changements dans l'occupation des sols et du couvert végétal, notamment l'introduction de l'agriculture irriguée, mais aussi la déforestation et le compactage du sol;
- Le processus d'urbanisation, et en particulier le niveau de fuite des conduites d'eau et le degré d'imperméabilisation de la surface terrestre;
- La baisse généralisée de la nappe phréatique par les prélèvements et / ou le drainage des terres, ce qui conduit à l'augmentation des zones et / ou des taux d'infiltration dans certains systèmes aquifères;
- Les changements dans le régime des eaux de surface, notamment la déviation de cours d'eau.

D'ailleurs les données de prélèvements de la nappe ne sont presque jamais disponibles, puisque le suivi direct des prélèvements d'eau souterraine est une opération coûteuse parce que les compteurs doivent être installés à tous les points de pompage; ce qui exige la pleine coopération des usagers d'eau, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser. L'utilisation intensive des eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau domestique se rencontre aussi dans les villes à croissance rapide où la fourniture des services d'eau est défailante. C'est le cas dans de nombreuses villes d'Afrique, ce qui a conduit à l'exploitation privée massive et sans discernement des eaux souterraines. Le contrôle indirect de l'utilisation des eaux souterraines peut être fait en utilisant des données démographiques, en combinaison avec des images satellitaires et des cartes de planification urbaine qui montrent l'expansion urbaine et l'estimation de la consommation d'eau par ménage.



Sources de pollution et vulnérabilité

Les nappes d'eau souterraine sont vulnérables à de nombreuses sources de pollution différentes. La localisation, la nature et la quantité des sources de pollution doivent être connues pour évaluer la charge de pollution à la surface du sol et donc potentiellement vers la nappe. Les charges de pollution sont relativement faciles à identifier, en particulier la pollution ponctuelle, mais c'est la vulnérabilité du système aquifère en combinaison avec la charge de pollution qui conduit à l'évaluation du danger de pollution encouru par les eaux souterraines.

Des données hydrogéologiques comme l'épaisseur et les propriétés hydrauliques, telles que la perméabilité de la zone non saturée sont nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des aquifères à des charges de pollution. Le danger, encouru par la nappe d'eau souterraine, peut être déterminé en superposant les cartes des charges de la pollution avec les cartes de vulnérabilité des aquifères.

Il ya un certain nombre de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère qui tiennent compte de divers facteurs qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère. Deux des systèmes d'évaluation les plus célèbres sont connus par leurs acronymes : DRASTIC et GOD. Pour donner un aperçu général de la caractérisation de la vulnérabilité des aquifères, il est utile d'examiner les éléments pris en compte dans l'exemple sur la méthode DRASTIC. A chaque élément de l'évaluation de la vulnérabilité est attribué une note relative, et le score final est classé en utilisant un graphique de classement qui permet de caractériser l'aquifère comme suit : très grande vulnérabilité à très faible vulnérabilité.

- D = profondeur de la nappe phréatique (plus c'est profond, moins c'est vulnérable)
- R = recharge nette (plus le taux de recharge est grand, plus c'est vulnérable)
- A = médium aquifère (les aquifères de faible perméabilité sont moins vulnérables)
- S = médium du sol (perméabilité, capacité d'adsorption)
- I = l'impact de la zone vadose (combinaison de S et D)
- C = conductivité hydraulique (semblable à A)

En raison de la répétition de certains paramètres, les hydrogéologues ont tendance à modifier DRASTIC et viennent avec plusieurs méthodes rationalisées d'évaluation de la vulnérabilité.

Une fois la vulnérabilité de l'aquifère a été évaluée, le risque pour les eaux souterraines peut également être évalué. La définition du risque de pollution des eaux souterraines est l'interaction entre la vulnérabilité des aquifères à la pollution et la charge de contaminants présente dans l'environnement de l'aquifère, à la suite de l'activité humaine à la surface du sol. La charge de contaminants peut être contrôlée, mais la vulnérabilité des aquifères est déterminée par le contexte hydrogéologique naturel.

L'évaluation systématique des risques de pollution des eaux souterraines devrait être intégrée dans les mesures de protection de la qualité des nappes d'eau souterraine, et devrait devenir une composante essentielle de la meilleure pratique environnementale.



Gestion de la pollution des eaux souterraines.

Comme on l'a dit plus tôt, la prévention de la pollution est de loin préférable que d'essayer d'y remédier après coup. Les options clés de gestion pour prévenir la pollution des nappes d'eau souterraine sont :

- L'isolement : garder les déchets et les aquifères productifs éloignés. Cela doit avoir généralement lieu au cours de la phase de planification de tout développement, en particulier là où il ya un niveau élevé de déchets générés. Les études d'impact environnemental sont conçues spécifiquement pour s'assurer que cette séparation se produise en temps opportun.
- Le confinement : Lorsque des déchets sont générés à proximité de sources d'approvisionnement en eau souterraine ou en eau de surface, alors le confinement des déchets dans des bassins imperméables est une option de gestion. Les décharges de déchets solides doivent être conçues de telle sorte qu'il y ait une base imperméable, qui peut être une forme de polyéthylène à haute densité en doublure ou une couche d'argile compactée.
- La gestion des déchets : le tri des déchets en différentes composantes donne des résultats et permet la réutilisation / recyclage de certains déchets (plastique, métal, verre, papier et carton) et le compostage des déchets organiques. Cela réduit la charge globale de déchets et permet la séparation des déchets toxiques qui peuvent être traités ou confinés dans des installations, de haut niveau, pour déchets. Le tri et l'isolement des déchets est souvent commercialement viable.
- La décontamination : finalement, il ya la restauration des aquifères pollués. Comme on l'a dit plus haut, cela est techniquement complexe, de longue durée et coûteux. Des méthodes telles que pomper, traiter et réinjecter l'eau traitée; rinçage de l'aquifère à l'eau douce, etc ont été utilisées avec un succès limité. Les polluants insolubles, appelés LNAPL et DNAPL (liquides en phase non-aqueuse denses et légers) sont particulièrement difficiles à traiter.

8.5 Protection des eaux souterraines

Pour qu'un risque de pollution donné se traduise par une menace d'une source d'approvisionnement en eau souterraine, cela va dépendre principalement de son emplacement par rapport à la source d'eau / zone de captage et secondairement de la mobilité du/ des contaminant (s) concerné (s). Un certain nombre de zones de protection des eaux souterraines doit normalement être définie (Figure 8.7); on se base sur les données hydrogéologiques, et sur le régime d'écoulement des eaux souterraines locales. Différents modèles analytiques et numériques sont disponibles à cet effet. L'échelle et l'intensité à laquelle l'étude, la cartographie et l'analyse des différents composants nécessaires pour évaluer les risques de pollution des eaux souterraines sont réalisées, varient en fonction de l'importance et de la sensibilité de la ressource en eau souterraine : la protection de l'approvisionnement en eau ou la conservation d'une ressource aquifère.

Une attention particulière doit être portée sur la surveillance de la qualité des eaux souterraines gérée généralement par les réseaux publics d'approvisionnement en eau à partir de forages d'eau ou sources, au moyen de systèmes de distribution par canalisations. Deux éléments clés sont (i) un échantillonnage régulier de l'eau, et (ii) l'analyse chimique en laboratoire.



Les évaluations des risques de pollution des eaux souterraines devraient inciter les autorités municipales ou les organismes de réglementation de l'environnement à prendre les deux mesures préventives (pour éviter la pollution future) et des mesures correctives (pour contrôler les menaces existantes). Pour protéger les aquifères contre la pollution, il est essentiel de restreindre l'occupation des sols, et les pratiques d'élimination des déchets et de rejet des effluents.

Des zones simples et solides doivent être mises en place, sur la base de la vulnérabilité des aquifères à la pollution, et des périmètres de protection des points d'eau. Pour chaque zone certaines activités doivent être définies pour un risque acceptable pour les eaux souterraines. Le zonage de protection des eaux souterraines a également un rôle clé dans la définition des priorités pour la surveillance de la qualité des eaux souterraines, l'audit environnemental de locaux industriels, et le contrôle de la pollution par le système de conseil agricole.

Un juste équilibre doit être trouvé entre la protection des ressources en eau souterraine (l'aquifère dans son ensemble) et des sources spécifiques (forages, puits et sources). Bien que les deux approches de la lutte contre la pollution des eaux souterraines soient complémentaires, l'accent mis sur l'une ou l'autre (dans une zone donnée) dépendra de la situation de l'exploitation des ressources et sur les conditions hydrogéologiques qui prévalent.

Pour faire face aux menaces des eaux souterraines, les communautés et les parties prenantes ont besoin d'informations sur la ressource. La protection des eaux souterraines peut être mieux assurée par le contrôle des sources de contaminants potentiels et en gérant l'occupation des sols dans les principales zones de recharge. En utilisant les connaissances de la géologie locale et les sens d'écoulement des eaux souterraines, des estimations peuvent être faites sur les zones qui contribuent à recharger un aquifère particulier. Des contrôles peuvent alors être mis en place pour assurer l'occupation appropriée des sols, et des pratiques chimiques dans les zones de recharge. Dans de nombreux cas, les zones de recharge ne peuvent pas être laissées dans leur état naturel.

Dans certains bassins, les activités domestiques, industrielles, agricoles et commerciales rejettent différentes formes de contaminants potentiels, qui peuvent polluer les eaux souterraines avec la matière bactérienne, les pesticides, les déversements de produits chimiques, les déchets toxiques, etc. À cet égard, les efforts de protection des eaux souterraines doivent plutôt se concentrer sur la gestion de ces sources potentielles de contaminants divers. Certaines techniques de gestion possibles comprennent l'éducation du public, l'inventaire et la surveillance des sources potentielles de contamination, et le zonage des activités locales d'occupation des sols (Figure 8.7) afin de protéger l'approvisionnement en eau souterraine de la communauté.

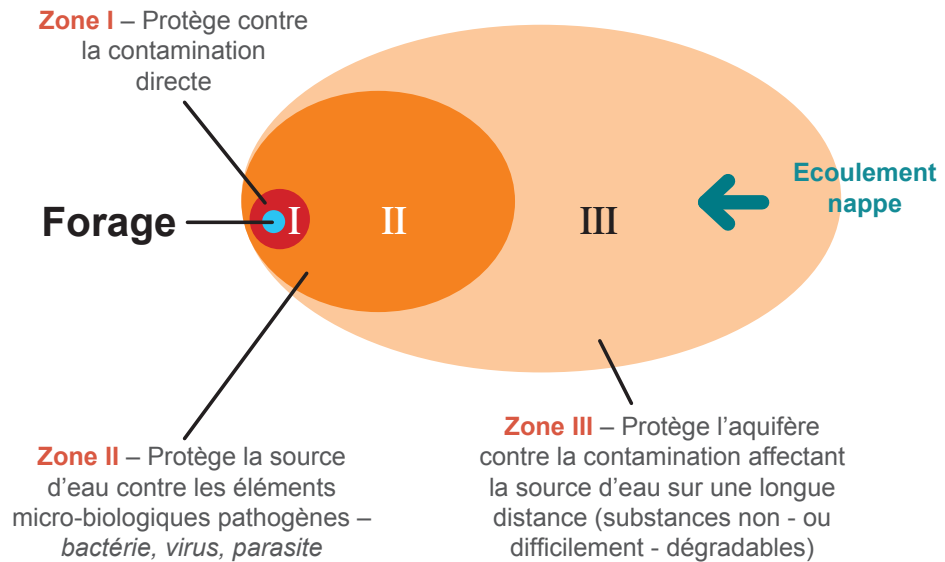


Figure 8.7: Zones schématiques idéalisées pour la protection d'un forage dans un aquifère libre.
Source: GW-Mate, 2006, modifié

Pour que les zones de protection des eaux souterraines soient efficaces, elles doivent :

- être intégrées dans le cadre réglementaire et appliquées;
- les parties prenantes doivent les connaître et les respecter;
- être régulièrement surveillées;
- disposer de restrictions à l'occupation des sols pour équilibrer les intérêts concurrents des utilisateurs.

8.6 Résumé

En discutant des risques liés aux eaux souterraines, il peut être utile de les considérer dans le contexte général de gestion des risques génériques. Puisque nous sommes préoccupés par la gestion des risques liés à l'eau souterraine, la question à se poser est de savoir : «Comment un gestionnaire de bassin versant peut protéger les ressources en eaux souterraines et les aquifères dans son bassin contre les risques?»

La mesure de la recharge, des flux d'eaux souterraines et même la cartographie des aquifères et des prélèvements potentiels sont coûteux et complexes. Face à un si grand manque d'information, comment le gestionnaire doit faire pour commencer à prendre des décisions? L'Encadré 8.1 présente les termes qui sont utilisés dans les études de catastrophes et de leurs interactions. Un tel cadre peut être utile pour un gestionnaire de bassin chargé de la protection des ressources en eau souterraine.

Le gestionnaire doit d'abord identifier les sources d'eaux souterraines importantes utilisées dans son bassin versant, puis évaluer les dangers qui pèsent sur chacun, regarder la vulnérabilité de chaque danger pour déterminer le risque. Les risques de pollution (points chauds) sont relativement faciles à identifier, mais c'est la vulnérabilité de l'aquifère qui traduit le danger potentiel.

Une fois que les gestionnaires de bassins versants ont une évaluation des risques, ils ont alors une base pour l'action (atténuation) qui peut inclure le contrôle des agents



ou des pratiques polluantes spécifiques, le réajustement des prélèvements ou d'autres interventions. Si les gestionnaires utilisent une approche structurée de gestion des catastrophes (Encadré 8.1), cela peut fournir un cadre pour l'identification des risques et, partant, le ciblage de la réponse efficace / décontamination. Les gestionnaires, en dépit de la complexité et des inconnues dans les eaux souterraines, ont encore un cadre pour des mesures de gestion qu'ils peuvent prendre pour protéger la ressource en eau souterraine de la pollution.

BOX 8.1: CERTAINES TERMINOLOGIES UTILISÉES DANS LES ÉTUDES DE CATASTROPHE

- i) Danger - événement physique potentiellement dangereux, l'activité humaine ou un phénomène qui a le potentiel de causer la perte en vie ou des blessures, des dommages matériels, des perturbations socio-économiques de la vie et la dégradation de l'environnement, entre autres.
- ii) Vulnérabilité - Un ensemble de conditions résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui accentuent la sensibilité d'une communauté à l'impact des catastrophes, ou les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe à disposer de capacité à anticiper, faire face à, résister et récupérer de l'impact d'un aléa naturel.
Catastrophe = danger + vulnérabilité
- iii) Risque - La probabilité de conséquences néfastes ou perte résultant de l'interaction entre les dangers naturels et des conditions de vulnérabilité des personnes et des biens.
Risque = (Danger X Vulnérabilité) / Capacité
- iv) Atténuation - Mesures à court et à long terme, programmes ou politiques préventives d'une catastrophe naturelle ou à ses débuts, afin de réduire le degré de risque pour les personnes, les biens et la capacité de production.
- v) Impacts - Effets spécifiques, les conséquences ou résultats de dangers ou de catastrophes.
- vi) Préparation - Les activités de pré-catastrophe visant à accroître le niveau de préparation ou améliorer les capacités opérationnelles pour répondre à une urgence.
- vii) Réponse - Les mesures prises immédiatement avant, pendant ou directement après une catastrophe pour réduire les impacts et améliorer la récupération.
- viii) Résilience / Capacité - La capacité de la communauté à faire face aux catastrophes.

Source: Rapport sur l'état de la prévention des catastrophes en Afrique subsaharienne, 2008.



8.7 References

Burke, J.J. and Moench, M.H. (2000):

Groundwater and Society: Resources, Tensions and Opportunities.

United Nations. Publications, Sales No. E.99.II.A.1, ISBN 92-1-104485-5.

FAO (2003):

Groundwater Management – The Search for Practical Approaches.

Water Reports 25. FAO (Food and Agricultural Organization), ISBN 92-5-104908-4.

FAO (2009):

Irrigation in the middle east region in figures. Aquastat survey 2008.

FAO Water Report 34, Country

Report Saudi Arabia, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

UNEP (2003):

Groundwater and its Susceptibility to Degradation.

UNEP/DEWA, Nairobi.

Ponce V. M., Lohani A. K. & Huston P. T. (1997):

Surface albedo and water resources: Hydroclimatological impact of human activities.

Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol. 2, No. 4, October, 197-203.

Web Readings

<http://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-056-1/page007.html>

<http://www.greenfacts.org/en/water-resources/l-3/4-effect-human-actions.htm>

<http://www.lenntech.com/images/gw-sewage-intrusion2.gif>

<http://psep.cce.cornell.edu/facts-slides-self/facts/gr-wh-hw-grw85.aspx>

<http://ponce.sdsu.edu/albedo197.html>

<http://www.sjra.net>



8.8 Exercices

EXERCICE 1

Titre : Gestion de la qualité de l'eau

Problème:

**l'impact de l'exploitation minière sur la qualité de l'eau dans le West Rand :
Calcul et interprétation**

La zone West Rand de Johannesburg est l'une des plus grandes régions productrices d'or en Afrique du Sud. La région repose sur des quartzites et des dolomies. Certaines mines ont été fermées en 1980 et depuis 2002 l'eau acide de la mine décante dans l'environnement. Les agriculteurs locaux dépendent de l'aquifère dolomitique pour l'approvisionnement en eau. Le rejet d'effluents riches en substances toxiques provenant des mines d'or et de la proximité de barrages de limons, des décharges de résidus et roche, peuvent également causer des dommages chimiques et biologiques sur les écosystèmes aquatiques par les inondations, l'engorgement, la modification des écoulements et des zones humides, mais aussi des dépôts de métaux radioactifs et toxiques dans le drainage du système karstique. Le ruissellement, provenant des barrages de limons, entre dans le réseau de drainage qui alimente les eaux de surface, le système karstique et les eaux souterraines.

Pendant le processus d'extraction, des roches qui sont situées bien en dessous de la surface sont ramenées à la surface, où elles sont broyées et traitées. L'or est extrait par un traitement chimique et la matière stérile est stockée dans les décharges de solides. Le traitement chimique et le concassage expose et mobilise la pyrite (FeS_2), un composant naturel riche en soufre de la roche qui est ensuite exposé à l'atmosphère et à l'eau. Les sulfates oxydés en combinaison avec l'eau et la dégradation bactérienne produisent de l'acide sulfurique qui réagit à son tour avec les roches et les sols pour libérer et mobiliser les métaux. Les acides et les métaux qui sont libérés se trouvent dans les rivières et les eaux souterraines qui sont contaminées par les eaux de ruissellement provenant des décharges, des résidus, des rejets de roches et des effluents miniers. Ceci est connu comme le drainage minier acide (DMA).

EXERCICE



Les risques liés
à l'eau souterraine

Question:

Le substrat acide de la mine s'écoule en aval en terrain dolomitique dans le West Rand. Les mesures de rejets ont été réalisées dans six stations pendant deux mois (février et août). Février est un mois pluvieux, tandis que le mois d'août est sec. La station P1 contient exclusivement du substrat minier acide et les valeurs mesurées varient vers l'aval. Calculez le taux d'infiltration / quantité d'eau minier acide dans l'aquifère dolomitique. Donner les raisons possibles des pertes, de l'impact et de l'augmentation dans certaines stations. Recommandez des mesures d'atténuation.

Débit		Février	Août		Infiltration en féb	Infiltration en août	
Q (m³/s)	P1	2.214	1.075				
Q (m³/s)	P2	1.2177	0.7				
Q (m³/s)	P3	1.014	0.588				
Q (m³/s)	P4	0.3	0.28				
Q (m³/s)	P5	0.9	0.3				
				Total			m³/s
				Total			m³/an

EXERCICE 2

Objectif : partager l'expérience de problèmes de quantité d'eau souterraine.

Activité : se diviser en groupes de 4 ou 5.

Chaque groupe (en 1 heure) :

- Identifier un problème courant de quantité des eaux souterraines dans votre pays.
- Discuter de la nature et de l'ampleur du problème - est-il d'origine anthropique ou naturelle?
- Comment le problème est géré, et qui est responsable de la gestion?
- Quels ont été les objectifs de la gestion et comment a-t-il réussi?
- Quels sont les changements que vous proposez pour améliorer la gestion du problème?

MODULE



LES EAUX SOUTERRAINES ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE





CONTENU

MODULE 9

Les eaux souterraines et la sécurité alimentaire

9.1	Introduction et contexte	4
9.2	Pourquoi l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation est si populaire?	8
9.3	Impacts sur la vie des populations	10
9.4	Irrigation par eau souterraine : aussi bien la sur-exploitation que la sous-exploitation de l'eau souterraine peuvent être préoccupantes	14
9.5	Solutions à la sous et sur-utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation	15
9.6	La nouvelle approche: le lien entre la sécurité de l'eau, de l'alimentation et de l'énergie	17
9.7	Références et autres lectures	19
9.8	Exercice	20

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa

(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: IWMI





LES EAUX SOUTERRAINES ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

- Comprendre l'ampleur et l'importance des eaux souterraines dans l'agriculture à l'échelle mondiale
- Connaître les régions avec sur (et sous)-utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation
- Apprécier les implications économiques et sur la vie des populations de l'irrigation agricole par les eaux souterraines
- Comprendre le contexte et le rôle de l'irrigation par les eaux souterraines en Afrique sub-saharienne
- Comprendre les risques liés à l'irrigation par les eaux souterraines
- Comprendre les stratégies pour optimiser et gérer l'irrigation par les eaux souterraines dans le monde
- Comprendre le lien entre l'alimentation, l'eau et la sécurité énergétique

9.1 Introduction et contexte

L'eau souterraine est largement utilisée dans l'agriculture à travers le monde. Environ 70% de toutes les eaux souterraines utilisées vont à l'agriculture, principalement l'irrigation (Fig. 9.1). À l'échelle mondiale, entre 20 et 40% des besoins en eau d'irrigation sont satisfaits par les eaux souterraines (Fig. 9.2 et Foster et Shah, 2012). L'agriculture est le plus grand consommateur d'eau par rapport à toutes les autres utilisations, comme domestique et industrielle. La plupart de l'eau destinée à l'irrigation est consommée par évaporation ou transpiration, tandis que l'eau consommée par l'usage domestique et industriel, est rejetée comme eau usée et peut être réutilisée.

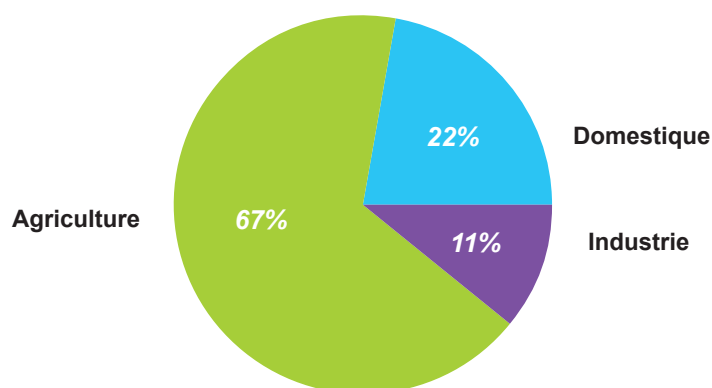


Figure 9.1. Part globale de l'utilisation des eaux souterraines pour les trois principaux secteurs (van der Gun, 2012)

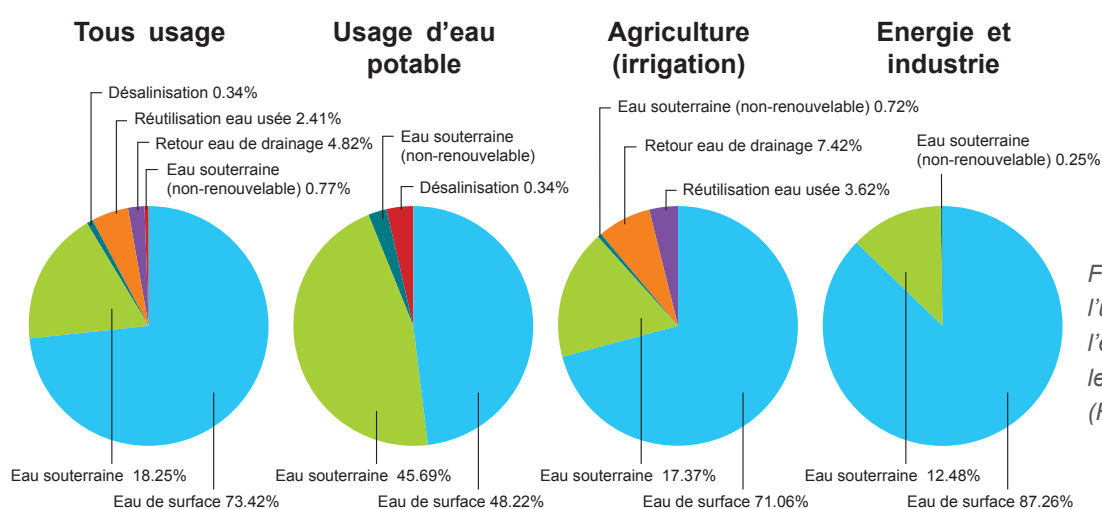


Figure 9.2. Sources de l'utilisation de l'eau à l'échelle mondiale et pour les principaux secteurs (FAO-AQUASTAT, 2000)

L'importance de l'utilisation de l'eau souterraine dans l'agriculture peut être observée dans les figures. 9.3 et 9.4 où la distribution mondiale de l'utilisation des eaux souterraines, ainsi que des zones irriguées par des eaux souterraines, sont respectivement, présentées. On note une bonne coïncidence entre les zones d'irrigation intensive et celles avec usage élevé de l'eau souterraine.

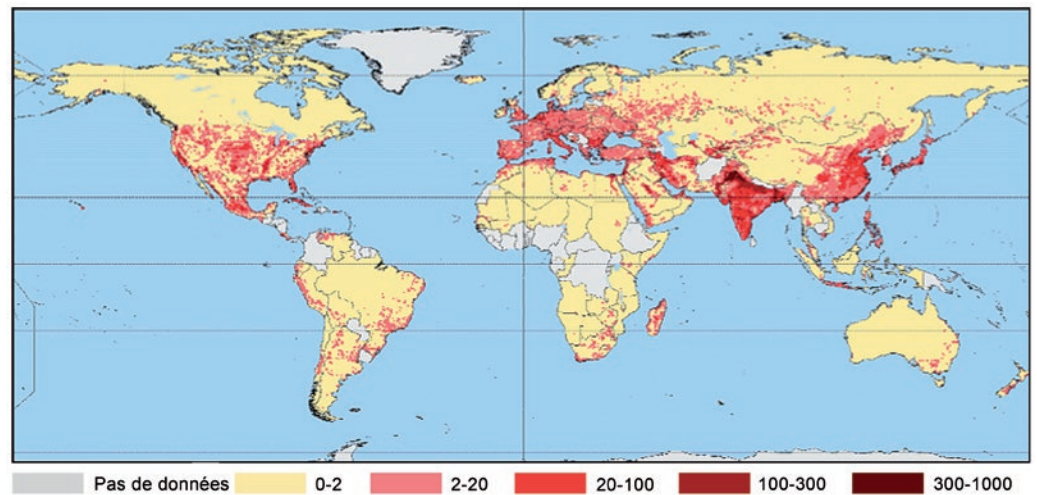


Figure 9.3. Carte globale de l'utilisation des eaux souterraines
(Wada et al., 2010. Unité en mm / an de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ cellules de la grille)

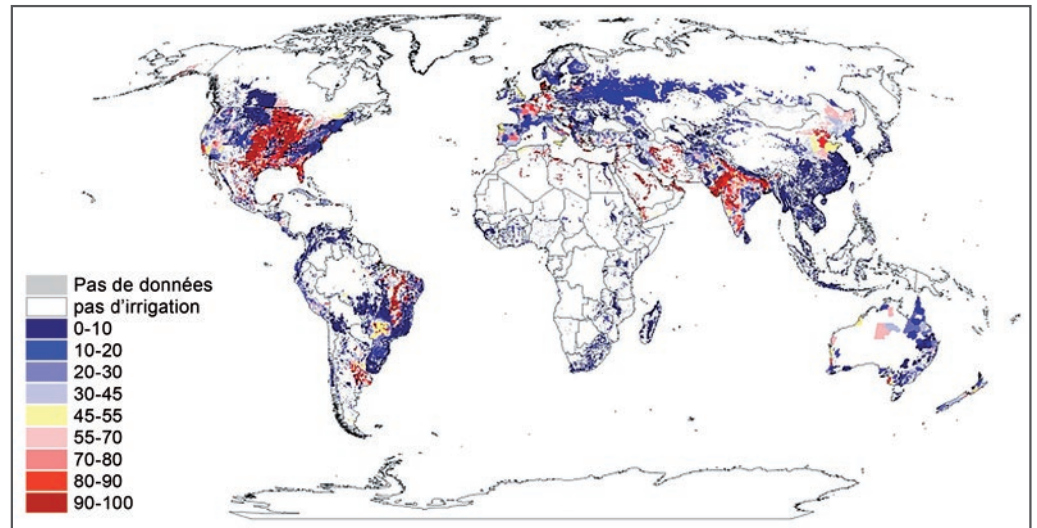


Figure 9.4. Carte mondiale des zones irriguées par des eaux souterraines
(Siebert et al. 2010. Pourcentage de la superficie irriguée alimentée par les eaux souterraines)

En général, cette irrigation se pratique dans les zones arides et semi-arides où le renouvellement des eaux souterraines est faible (Fig. 9.5). Cette tendance peut facilement s'expliquer par un besoin plus grand de renforcer les cultures avec l'eau d'irrigation dans ces zones. Cependant, cela implique aussi qu'il existe un plus grand risque de surexploitation des ressources en eau souterraine dans ces zones, parce qu'elles ne se renouvellent pas très rapidement ou régulièrement.

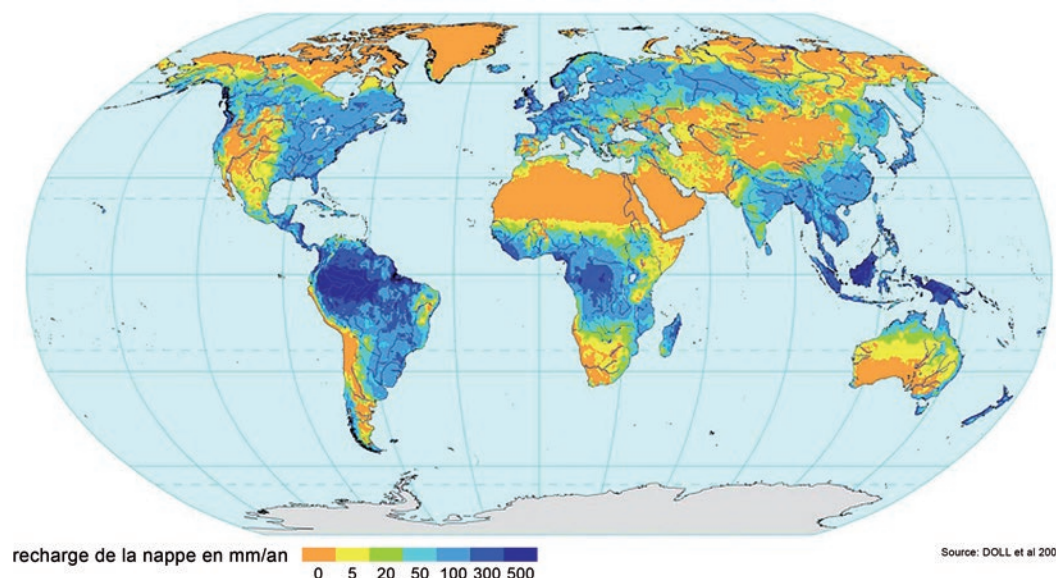


Figure 9.5. Recharge moyenne annuelle de la nappe d'eau souterraine, 1961 - 1990
(Döll and Fiedler, 2008)

L'utilisation des eaux souterraines dans l'agriculture a été initiée en Asie avec l'avènement de la Révolution verte dans les années 1960. De nombreux pays, mais en particulier l'Inde, le Pakistan et la Chine, ont soutenu une agriculture plus efficace et plus productive grâce à l'irrigation par les eaux souterraines, et son utilisation a considérablement augmenté depuis lors (Figure 9.6).

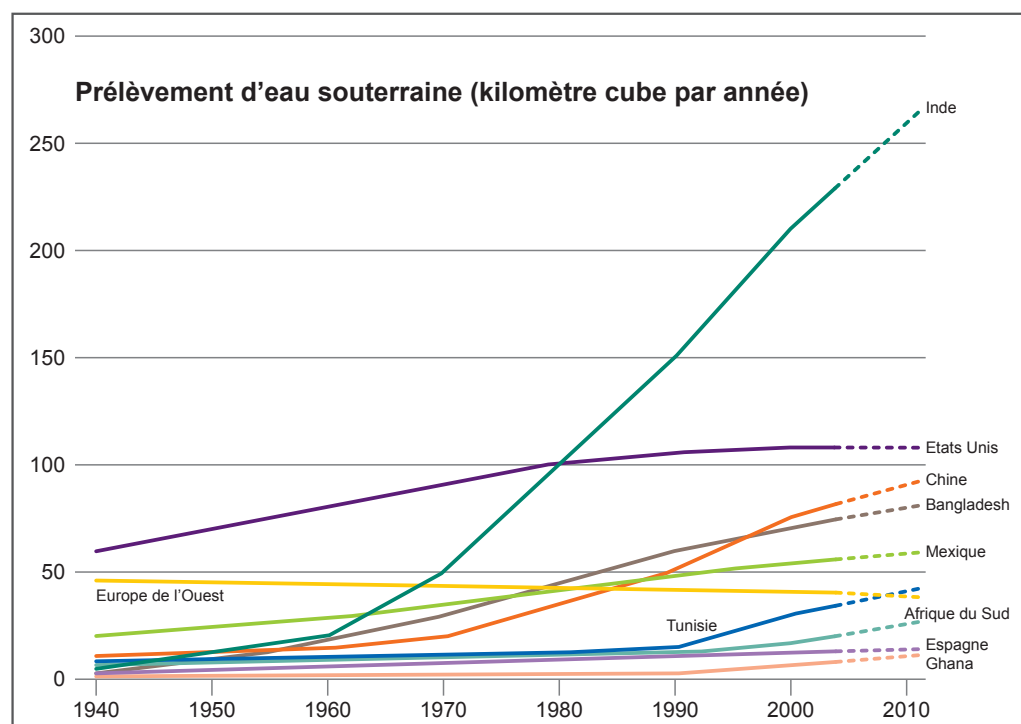


Figure 9.6. Prélèvement d'eau souterraine pour des pays sélectionnés
(Shah, Burke, and Villholth, 2007)

Cette croissance a été sans précédent dans l'histoire humaine et a des répercussions sur les ressources en eau disponibles et sur l'environnement dans les zones où l'exploitation des eaux souterraines est particulièrement intense, comme nous le verrons plus tard.



9.2 Pourquoi l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation est si populaire?

Certaines des propriétés inhérentes aux eaux souterraines sont particulièrement favorables pour l'irrigation (Encadré 9.1). Il s'agit principalement de son ubiquité et sa pérennité par rapport aux rivières, par exemple. Ces facteurs expliquent en partie la préférence des agriculteurs à utiliser les eaux souterraines plutôt que d'autres sources d'eau, notamment l'eau de surface.

En plus de ces facteurs inhérents favorisant les eaux souterraines, il ya eu un certain nombre de facteurs externes qui ont contribué à promouvoir l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation. Il s'agit notamment de la mise au point de technologies de foration et de pompage nécessaires pour accéder à la nappe et extraire l'eau. Dans les premières phases d'exploitation et dans les communautés pauvres, l'utilisation des eaux souterraines d'aquifères peu profonds, tend à dominer, mais comme la ressource est exploitée, il est apparu la nécessité de forer plus profond, avec le besoin concomitant de pompe mécanique, plutôt que par la motricité humaine.

ENCADRÉ 9.1. PROPRIÉTÉS FAVORABLES DE L'EAU SOUTERRAINE POUR L'IRRIGATION

Ubiquité : L'eau souterraine est disponible presque partout et permet une exploitation et une gestion décentralisée et progressive, en cas de besoin

Résistance à la sécheresse : l'eau souterraine est généralement moins vulnérable à la sécheresse que les sources d'eau de surface puisque l'eau souterraine a une réponse retardée à des changements dans les précipitations et fait face à moins de pertes d'eau par évaporation. Par conséquent, les cultures sont également possibles pendant les périodes sèches et les périodes de sécheresse, dans une certaine mesure

Fiabilité : Les eaux souterraines approvisionnent l'irrigation sur demande, ce qui offre aux agriculteurs la liberté d'utiliser l'eau lorsque leurs cultures en ont le plus besoin. L'amélioration de la fiabilité encourage en outre les agriculteurs à investir dans l'intensification par l'utilisation de semences améliorées, des engrais, des pratiques culturales, comme l'économie d'eau d'irrigation, et la diversification des cultures. Tous ces facteurs conduisent à une augmentation de productivité des sols et de l'eau

Immédiateté : l'irrigation par des eaux souterraines peut être développée rapidement par des agriculteurs individuels ou en petits groupes, contrairement aux grandes infrastructures d'irrigation par l'eau de surface, qui pourraient nécessiter la participation du gouvernement ou un grand effort de coopération

Coût réduit : les coûts en capital des ouvrages d'eau souterraine sont beaucoup plus faibles par zone d'irrigation que ceux des ouvrages d'eau de surface, puisque la construction de réservoir n'est pas nécessaire et les points d'eau peuvent généralement être mis en place près de la demande. Cependant les coûts d'exploitation ont tendance à être plus élevés pour les systèmes d'irrigation par des eaux souterraines

Polyvalence : L'eau souterraine peut être exploitée stratégiquement pour de multiples usages dans les zones rurales et éloignées, en fournissant de l'eau pour les usages domestiques, ainsi que de production, et ainsi on peut réaliser plusieurs objectifs de développement

Flexibilité : Les eaux souterraines peuvent être exploitées en collaboration avec d'autres sources d'irrigation pour optimiser l'utilisation globale de l'eau, ainsi que les options de stockage



Les pompes rentables sont de plus en plus disponibles, avec des marques asiatiques, qui sont fournies et commercialisées dans de nombreux pays aujourd'hui. Les technologies de foration, adaptées à différents contextes, sont aussi généralement disponibles dans la plupart des pays, bien que le coût et l'efficacité varient un peu. Les ventes et des services pour ces technologies sont généralement beaucoup mieux développés en Asie qu'en Afrique, ce qui reflète la longue histoire de l'exploitation des eaux souterraines dans cette région.

Un autre facteur externe qui a facilité l'exploitation des eaux souterraines pour l'irrigation est l'expansion de l'électrification rurale. Ceci est illustré en Inde, où l'irrigation par les eaux souterraines a proliféré dans certaines régions en raison de la fourniture d'électricité subventionnée aux agriculteurs. L'électricité semble être la source privilégiée d'énergie grâce aux prix plus bas et sa «propreté» par rapport à, par exemple, l'essence ou le diesel. Cependant, l'électrification rurale est encore en retard dans certaines parties du monde, comme l'Afrique subsaharienne (ASS), ce qui entrave efficacement le développement de l'irrigation par les eaux souterraines.

En outre, l'augmentation de la demande de produits alimentaires (en raison de la croissance démographique et l'élévation du standard de vie) a incité les agriculteurs à intensifier leur agriculture par l'irrigation et à pratiquer des cultures à forte valeur ajoutée. Il a été constaté qu'en raison de la fiabilité de la ressource et la capacité des agriculteurs à contrôler l'utilisation de la nappe, le rendement et la productivité de l'eau souterraine sont plus élevés que pour l'eau de surface (Deb Roy et Shah, 2003). Avec moins de risque de mauvaise récolte lors de l'utilisation des eaux souterraines, les agriculteurs ont tendance à investir davantage dans d'autres intrants agricoles, comme les engrais et les pesticides, généralement pour augmenter encore leur productivité.

La production alimentaire avec les eaux souterraines a tendance à augmenter la production de légumes et d'autres cultures de valeur supérieure par rapport à celle des cultures de base, en particulier en Afrique subsaharienne. Par conséquent, les régimes alimentaires des agriculteurs pauvres pourraient s'améliorer en terme de valeur nutritionnelle, quand leur nourriture provient des eaux souterraines, mais aucun résultat documenté pour étayer cela n'est disponible. En Asie, l'eau souterraine est également utilisée pour les cultures de base comme le blé, le maïs et le riz.

Enfin, une meilleure connaissance des systèmes aquifères d'eau souterraine par les agriculteurs, ainsi que les résultats positifs qu'ils ont accumulés, ont en outre favorisé la croissance accélérée de l'irrigation alimentée par l'eau souterraine, observée dans de nombreuses régions du monde.



9.3 Impacts sur la vie des populations

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, l'irrigation, et en particulier l'irrigation par les eaux souterraines, a été associée à la réduction de la pauvreté. Une corrélation positive à grande échelle est notée entre le développement de l'irrigation par les eaux souterraines et la réduction de la pauvreté en Inde (Fig. 9.7). Cela confirme les conclusions, sur une plus petite échelle, que les agriculteurs adoptant l'irrigation par des eaux souterraines sont mieux lotis que leurs homologues, qui n'adoptent pas l'irrigation par des eaux souterraines ou prennent d'autres formes d'irrigation (par exemple, Shah et al., 2013). En Asie du Sud-Est seulement, on estime que plus de 1 milliard de personnes comptent directement sur les eaux souterraines pour l'irrigation (Villholth et Sharma, 2006). Cependant l'irrigation par les eaux souterraines doit confirmer sa rentabilité pour les agriculteurs qui investissent en elle, et dans certains cas (comme en Afrique subsaharienne) les coûts d'investissement sont souvent trop élevés, et donc prohibitifs pour les agriculteurs les plus pauvres. Cela implique que les avantages ont tendance à s'accroître pour les agriculteurs moins défavorisés (Villholth, 2013). Il n'est toutefois pas prouvé que ceci aggrave la disparité.

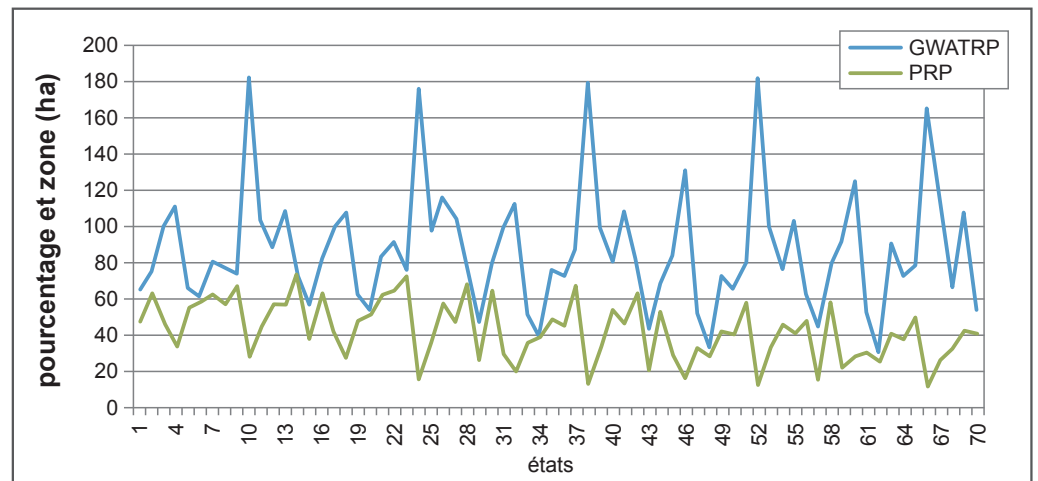


Figure 9.7. Relation entre la superficie irriguée, avec utilisation des eaux souterraines, par millier de population rurale (GWATRP) et le pourcentage de la pauvreté rurale dans les Etats indiens (PRP) (Narayanamoorthy, 2007)

Le cas de l'Afrique sub-saharienne

L'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation en Afrique subsaharienne varie des systèmes de petits périmètres avec des propriétaires de moins d'un hectare, aux systèmes mécanisés à grands périmètres de plus de 100 hectares. Une typologie simple qui englobe les formes les plus remarquables de l'irrigation par l'eau souterraine en Afrique subsaharienne, est proposée dans le tableau 9.1; ce dernier établit une différence entre la profondeur de la nappe utilisée et la source de financement.

**Tableau 9.1. Typologie des systèmes d'irrigation des eaux souterraines en Afrique subsaharienne, avec des exemples**

		Profondeur des forages	
		Profond	Peu profond
Source de financement	Privée	1. Commercial, à grands périmètres, mécanisé, orienté vers l'exportation	2. Informel, petit périmètre, développé par l'agriculteur
		Exemples: <i>Fermes de fleurs en Ethiopie, les fermes céréalières du Centre-pivot en Zambie</i>	<i>Systèmes de production de légumes dans le Nord-est du Ghana</i>
	Publique	3. Systèmes profonds, subventionnés	4. Systèmes peu profonds, subventionnés
		Exemples: <i>Des programmes publics dans Raya-Kobo en Ethiopie</i>	<i>Systèmes Fadama au Nigeria</i>

Quelle catégorie correspond le plus à l'irrigation par les eaux souterraines dans votre pays?

Il est important de bien distinguer la profondeur, parce que les coûts d'investissement pour commencer l'irrigation par les eaux souterraines, augmentent de manière significative avec la profondeur. Les systèmes plus profonds (de type 1 et 3) ont également tendance à être plus résilients aux sécheresses par rapport aux systèmes de puits peu profonds. Le fait de mentionner la source de financement est aussi important puisque le contrôle et la gestion des systèmes diffèrent largement. Alors que les systèmes de petites exploitations informelles peu profondes (de type 2) sont pour la plupart non reconnus et non réglementés par le secteur public, les systèmes les plus profonds (de type 3), en raison des investissements publics importants, sont formellement reconnus par le secteur public; ce qui nécessite généralement une délégation de la gestion aux organisations d'utilisateurs. Enfin, le type 4, illustré par les systèmes de Fadama au Nigeria, comprend des systèmes peu profonds, mais soutenus par des fonds publics. Comme en Asie, il est prouvé que l'irrigation par des eaux souterraines a contribué à réduire la pauvreté en Afrique subsaharienne, où les groupes de population les plus pauvres bénéficient simultanément de l'accès aux eaux souterraines par des forages, aux puits et pompes bon marché, ainsi qu'aux facteurs-clé liés à l'agriculture, par exemple, accès à l'énergie, au crédit, aux intrants agricoles, et à la formation (Villholth, 2013). Les données provenant des cas particuliers sont donnés dans le tableau 9.2.



Les photos illustrant les divers systèmes sont montrées à la Fig. 9.8.



Figure 9.8. Illustrations des différents types d'irrigation par les eaux souterraines

Le potentiel de développement de l'irrigation (par des eaux souterraines) en Afrique subsaharienne est, en général, grande; ainsi, diverses méthodes ont été proposées pour estimer le potentiel en termes de superficie et de localisation des sites. On estime que 26 autres millions de foyers pourraient en bénéficier et environ 13 millions d'hectares de terres agricoles pourraient être durablement irriguées avec les eaux souterraines dans treize pays sélectionnés d'Afrique subsaharienne (Pavelic et al., 2013). Une compilation simple, ainsi que l'analyse des indicateurs liés à l'irrigation par les eaux souterraines, ont donné un classement, selon leur potentiel, de quatorze pays différents d'Afrique subsaharienne (Encadré 9.2).

ENCADRÉ 9.2. CLASSEMENT DES PAYS SÉLECTIONNÉS EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE EU ÉGARD À L'IRRIGATION PAR LES EAUX SOUTERRAINES

*Dans quel
groupe vous pensez
que votre pays fait
partie, si ce n'est
pas sur cette liste?*

1. Potentiel faible ou limité :
Kenya, Mali, Niger, Afrique du Sud, Tanzanie
2. Potentiel encore appréciable :
Burkina Faso, l'Éthiopie, le Ghana, le Malawi, le Mozambique, le Nigeria et la Zambie
3. Un grand potentiel, mais la demande pour l'irrigation limitée à l'heure actuelle :
Rwanda, l'Ouganda

Données sur l'irrigation en Afrique subsaharienne, y compris l'irrigation par eaux souterraines, avec un focus sur les systèmes de petits périmètres

Pays, région	Irrigation débute	Taille parcelle par HH ^a (ha)	Prof. NS, type forage	Combiné avec pluie?	Dispositif de pomp., dispositif d'irrigation	Cultures, saison irrigation par eau souterr.	Praticiens irrigation par eau souterr.	Régime foncier	Type irrigation (cf. Tabl. 3)	Phase de dev. irrig. ^b	Agriculture avec + haute productivité ^c	Soutien financier externe	Référence
Ethiopie Vallée de Raya-Kobo	>1995	~ 0.25	Forage profond (60-170 m)	Oui	Pompes Elec., sillon / seaux / gicleurs	Oignon / tomate / poivron saison sèche	Petits exploitants agricoles	Location / métayage / propre	3	2	Irrigation par motopompe de la nappe	Partiellement gouv / ONGs	Gebregziabher et al. (2013); Ayenew et al. (2013); Abate (2006)
Région Extrême Est du Ghana	1890's	0.01-0.21	Puits peu profonds /HDWs ^d	Oui	Corde et seaux	Tomate / oignon / poivron saison sèche	En majorité des femmes et des jeunes	location	2	1	Sceau pour irriguer par eau nappe	Limité	Obuobie et al. (2013); Namara et al. (2013); Dittoh et al. (2013)
Niger Niamey, environs de la capitale	>1990	0.13	Profond + peu profond, divers	Oui	Pompes à main / pied, seaux	Oignon / tomate / chou saison sèche	2/3 femmes	Individuel/ collectif	2	1	Irrigation par eau souterr.	Partiellement gouv / ONGs	Torou et al., 2013
Nigeria Nord du Nigeria	>1993	0.5 - 1.0	peu profond, forages	Oui	Pompes à moteur, inondations	Oignon, le chou, le poivron, les tomates Toute l'année	Petits exploitants agricoles	Individuel/ location	4	2-3	GW irrigation	World Bank/ Gov't	Abrić et al. (2011); Nkonya et al. (2010); Dabi (no year)

^a HH: Ménage; ^b Phase de développement de l'irrigation par eau souterraine, selon Deb Roy and Shah (2003). 1 signifie premières phases d'exploitation des eaux souterraines, tandis que 4 indique l'ancienneté et la sur-exploitation des eaux souterraines; ^c Revenu brut par ha; ^d HDW: Puits manuel





9.4 Irrigation par eau souterraine : aussi bien la sur-exploitation que la sous-exploitation de l'eau souterraine peuvent être préoccupantes

Des régions comme l'Afrique subsaharienne et l'Asie du Sud-Est diffèrent largement dans l'échelle et l'importance de leur irrigation par l'eau souterraine (Fig. 9.4 et 9.6). En Inde, par exemple, l'eau souterraine contribue à plus de 60% dans les zones irriguées, par contre dans la même figure pour l'Afrique subsaharienne, ce chiffre se situe entre 10 et 20% (Villholth, 2013). Alors que l'irrigation, en général, est beaucoup plus faible en Afrique subsaharienne qu'en Asie, démontrant un certain nombre d'obstacles, ces données montrent des contextes et des trajectoires d'exploitation des eaux souterraines tout à fait différents à travers le monde. Il est généralement admis que l'Asie du Sud-Est présente une situation de surexploitation des eaux souterraines, tandis que en Afrique subsaharienne c'est plutôt la sous-exploitation. Dans le premier cas, même s'il est prouvé que l'eau souterraine a contribué à réduire grandement la pauvreté en Inde, les ressources dans certaines régions du pays ne sont pas actuellement considérées comme durables, contribuant à la dégradation de l'environnement, à la baisse des bénéfices de l'irrigation, et l'augmentation des conflits entre usagers de l'eau, etc. En Afrique subsaharienne, il est admis que le potentiel de l'eau souterraine peut soutenir davantage le développement de l'irrigation à petite et grande échelle, la production alimentaire, et réduire ainsi la pauvreté. Dans le tableau 9.3, les pays où on observe une surexploitation des eaux souterraines, sont classés en fonction du degré d'épuisement des ressources. On voit qu'aussi bien les pays développés que les pays en développement sont concernés par ce problème.

Les quelques raisons de la disparité dans l'exploitation des eaux souterraines entre l'Asie et l'Afrique subsaharienne sont :

- La densité de la population plus grande en Asie du Sud-Est, ce qui nécessite l'intensification de l'agriculture;
- Un accès moins coûteux et plus facile aux pompes et à des technologies de foration en Asie du Sud-Est;
- Ancrage plus profond de la Révolution Verte en Asie;
- Le manque de tradition communautaire dans la culture irriguée, comparé à une culture pluviale et un élevage extensif en Afrique subsaharienne;
- Infrastructures rurales déficitaires : routes, ouvrages de stockage, etc.;
- Entreprises commerciales limitées en Afrique subsaharienne;
- Très faibles taux d'électrification rurale en Afrique subsaharienne, ainsi que le coût élevé et la difficulté de commercialisation du carburant diesel utilisé pour le pompage
- L'accès insuffisant au crédit financier pour l'acquisition de matériel d'irrigation et l'achat des intrants essentiels de production en Afrique subsaharienne (tels que les semences de qualité et les produits agrochimiques);
- Aquifères meilleurs et plus productifs en Asie;

Laquelle de ces raisons pensez-vous sont les plus critiques?



Tableau 9.3. Taux de prélèvements d'eau souterraine (A) et taux d'épuisement des eaux souterraines estimé par modèle (D) pour certains pays des régions sub-humides à arides, avec des plages d'incertitude données entre parenthèses, pour l'année 2000. L'épuisement est le taux de prélèvement dépassant la recharge moyenne à long terme (Wada et al., 2012)

Pays	prélèvement (A) (km ³ / an ⁻¹)	volume d'épuisement (D) (km ³ / an ⁻¹)	D/A (%)
Inde	190 (±37)	71 (±21)	37 (±19)
États-Unis	115 (±14)	32 (±7)	28 (±9)
Chine	97 (±14)	22 (±5)	22 (±9)
Pakistan	55 (±17)	37 (±12)	69 (±48)
Iran	53 (±10)	27 (±8)	52 (±24)
Mexique	38 (±4)	11 (±3)	30 (±11)
Arabie Saoudite	21 (±3)	15 (±4)	72 (±30)
Russie	12 (±2)	1.5 (±0.5)	14 (±7)
Italie	11 (±3)	2.3 (±0.6)	21 (±13)
Turquie	8 (±2)	2.4 (±0.8)	31 (±18)
Ouzbékistan	6.5 (±1.8)	4.0 (±1.4)	63 (±43)
Égypte	5 (1.3)	3.0 (±1.2)	61 (±43)
Bulgarie	4.8 (±1.4)	2.0 (±0.8)	42 (±32)
Espagne	4.6 (±1.1)	1.7 (±0.6)	37 (±23)
Argentine	4.5 (±0.9)	0.9 (±0.3)	20 (±11)
Libye	4.4 (±1.2)	3.1 (±0.9)	70 (±43)
Ukraine	4.2 (±0.9)	0.3 (±0.08)	7 (±3.5)
Roumanie	3.5 (±1)	1.3 (±0.6)	38 (±30)
Kazakhstan	3.4 (±1)	2.0 (±0.5)	59 (±35)
Afrique du Sud	3.0 (±0.7)	1.5 (±0.5)	50 (±30)
Algérie	2.5 (±0.7)	1.7 (±0.6)	69 (±48)
Grèce	2.4 (±0.6)	0.34 (±0.1)	14 (±8)
Maroc	2.4 (±0.4)	1.6 (±0.5)	67 (±34)
Australie	2.1 (±0.4)	1.0 (±0.3)	48 (±24)
Tadjikistan	1.9 (±0.5)	1.2 (±0.4)	61 (±40)
Yémen	1.9 (±0.5)	0.9 (±0.3)	49 (±31)
Turkménistan	1.85 (±0.5)	1.25 (±0.5)	70 (±50)
Syrie	1.59 (0.4)	1.23 (±0.3)	78 (±41)
E.A.U.	1.55 (0.3)	1.18 (±0.4)	76 (±42)
Tunisie	1.55 (±0.5)	0.65 (±0.2)	42 (±30)
Pérou	1.23 (±0.4)	0.32 (±0.08)	26 (±17)
Bolivie	0.68 (±0.2)	0.25 (±0.08)	37 (±25)
Israël	0.61 (±0.2)	0.38 (±0.1)	62 (±41)
Kirghistan	0.61 (±0.2)	0.31 (±0.1)	51 (±37)
Jordanien	0.52 (±0.2)	0.22 (±0.08)	42 (±38)
Mauritanie	0.51 (±0.1)	0.36 (±0.1)	71 (±35)
Oman	0.50 (±0.2)	0.2 (±0.06)	39 (±33)
Koweït	0.29 (±0.1)	0.25 (±0.09)	87 (±70)
Qatar	0.18 (±0.05)	0.15 (±0.06)	83 (±60)
Globe	734 (±82)	256 (±0.38)	34 (±9)

9.5 Solutions à la sous et sur-utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation

Il ne sera pas facile de modifier les approches actuelles d'utilisation et de gestion des eaux souterraines pour l'irrigation, ni en cas de sous-exploitation ou de sur-exploitation. Cependant, l'optimisation de l'utilisation des eaux souterraines dans les deux cas est impérative pour les résultats environnementaux et socio-économiques durables à long terme. Pour l'Afrique subsaharienne, il est plutôt fait cas de la sous utilisation de la ressource en eau souterraine pour l'irrigation. Le rôle des gestionnaires de l'eau souterraine sera donc de trouver des moyens de stimuler le développement de ce secteur.



Les quelques questions qui peuvent se poser pour les gestionnaires de l'eau sont :

- Comment les Organismes de Bassin en Afrique gèrent-ils l'exploitation des eaux souterraines qui vont vers l'irrigation en Afrique subsaharienne?
- Comment les Organismes de Bassin peuvent-ils éviter la surexploitation des eaux souterraines qui a été expérimentée en Asie du Sud-Est?
- Quel rôle les Organismes de Bassin peuvent-ils jouer pour stimuler l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation?
- Comment les systèmes de gestion des eaux souterraines pour l'irrigation peuvent-ils être efficaces, à différentes échelles d'exploitation et d'utilisation?
- Quel peut être le rôle des Organismes de Bassin Transfrontalier dans la gestion de l'irrigation par des eaux souterraines?
- Pourquoi les Organismes de Bassin en Afrique doivent-ils investir dans la gestion des eaux souterraines pour l'irrigation lorsque l'utilisation des eaux souterraines est si limitée, et les conflits existent à peine et sont très localisés?

Dans le tableau 9.4, certaines options globales pour améliorer l'utilisation et la gestion de l'irrigation par les eaux souterraines sont fournies.

Tableau 9.4. Approches pour améliorer l'utilisation durable des eaux souterraines pour l'irrigation en Asie du Sud et en Afrique sub-saharienne

Afrique sub-saharienne	Asie du Sud-Est
Élaborer une politique nationale et régionale pour le développement de l'irrigation avec les eaux souterraines	Diversifier les moyens de subsistance ailleurs que par l'irrigation par les eaux souterraines
Élaborer des cartes et développer la connaissance des aquifères à différentes échelles	Encourager l'exploitation des eaux souterraines dans les régions où elles le sont moins
Promouvoir et soutenir l'exploitation de l'aquifère par des systèmes appropriés d'irrigation par les eaux souterraines (tableau 9.1)	Rationner l'approvisionnement d'électricité destinée à l'irrigation tout en le rendant fiable
Développer l'électrification rurale fiable	Accroître l'efficacité de l'irrigation
Améliorer les routes rurales	Encourager les cultures pluviales et résistantes à la sécheresse
Accorder des subventions incitatives pour, par exemple, les pompes, l'électricité, et la foration etc.	Encourager la gestion locale de l'eau souterraine entre les agriculteurs
Améliorer les chaînes de marché pour l'équipement et les cultures	Encourager la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine
Promouvoir des systèmes de gestion et d'allocation des eaux souterraines, s'appuyant sur les utilisateurs	L'utilisation combinée des eaux souterraines et des eaux de surface
Améliorer la sécurité foncière	
Inciter des industries rurales de transformation alimentaire	
Développer un programme de formation d'agents de vulgarisation sur les aspects d'irrigation par les eaux souterraines	
Développer des micro-crédits destinés aux petits exploitants pour accéder à l'irrigation par les eaux souterraines	
Capaciter les agriculteurs à s'organiser pour demander des changements politiques	

Laquelle de ces approches sont «top-down» ou «bottom-up»? Comment faciliter chacune?



Ces changements sociaux prennent du temps avant d'avoir un fort impact, mais là où des gains économiques et financiers réels peuvent être faits, les communautés à travers le monde ont montré la capacité d'adaptation rapide à tirer parti des conditions favorables. Les Organismes de Bassin peuvent être les catalyseurs de ces changements positifs en Afrique subsaharienne.

9.6 La nouvelle approche: le lien entre la sécurité de l'eau, de l'alimentation et de l'énergie

Comme il y a un accès limité à l'eau, à l'assainissement, à la nourriture et à l'énergie (souvent due à une mauvaise gestion et aux structures de gouvernance), une population qui croît rapidement mettra encore plus de pression sur la disponibilité et la durabilité des ressources de la planète. Les systèmes qui aident à produire et mettre des aliments frais et de l'énergie, ainsi que de l'eau potable en abondance pour nous tous, sont intimement liés. Il faut de l'eau pour créer de la nourriture et de l'énergie, il faut de l'énergie pour se déplacer et traiter l'eau et à produire de la nourriture, et parfois nous utilisons la nourriture comme source d'énergie. Ces systèmes sont devenus de plus en plus complexes et dépendent les uns des autres car les ressources sont sous une pression croissante. En conséquence, une perturbation dans un système peut faire des ravages dans les autres, il est donc important d'atteindre un équilibre durable entre les trois. Par conséquent, il est important de réaliser l'interdépendance de ces secteurs pour éviter que les objectifs de développement ne soient compromis.

Lorsque les ressources en eau souterraine sont accessibles pour satisfaire la demande de l'irrigation, ceci influe directement sur le lien. Il y aura une demande d'énergie pour extraire l'eau à la surface et la distribuer à la culture. L'accès et le prix de l'énergie sont de puissants moteurs de captage des eaux souterraines. Plusieurs pays dans le monde ont subventionné le diesel ou l'électricité pour le secteur agricole afin de garantir des revenus aux agriculteurs et assurer la souveraineté alimentaire nationale. Ces incitations en forme de subventions, ont tendance à conduire à une expansion de la zone sur laquelle les spéculations consommatrices d'eau sont cultivées, avec des technologies d'irrigation inefficaces; ce qui cause finalement la baisse de niveau des eaux souterraines. Il s'agit surtout d'un problème spécifique à de nombreux pays arides où les ressources en eau souterraine sont non renouvelables. Cette baisse de niveau de la nappe, a également de vastes implications pour le secteur de l'énergie, qui perd des revenus et peut aller à la faillite.

La production agricole reste fondamentale pour le bien-être national et la production économique. Cependant, intégrer les interdépendances entre la sécurité de l'eau, de l'alimentation et de l'énergie dans les politiques nationales et les programmes, peut potentiellement améliorer l'économie, préserver les ressources naturelles, et accroître la sécurité alimentaire.

Dans de nombreux endroits en Afrique, l'énergie n'est pas produite dans les zones rurales, ce qui provoque une contrainte pour l'exploitation des eaux souterraines,



au-delà du pompage manuel simple pour l'irrigation à petite échelle. Inversement, le développement de l'énergie est souvent associé à une plus grande dépendance de l'irrigation à l'égard des eaux souterraines.

Aucun système n'est parfaitement élastique et il y aura beaucoup de compromis complexes, spatialement et matériellement, dans le lien eau, nourriture, et énergie. L'exportation de denrées alimentaires est une exportation virtuelle de l'énergie et de l'eau; et vice versa pour les importations de produits alimentaires. En résumé, lorsque l'on fait un plaidoyer pour le développement de l'irrigation basée sur les eaux souterraines, des organismes de bassin et les autres décideurs doivent prendre en compte le lien entre la nourriture, l'eau et l'énergie. L'augmentation de l'irrigation par les eaux souterraines, par le biais des subventions à l'énergie destinées aux agriculteurs, peut être compliquée; car elle peut provoquer une tension dans les systèmes d'énergie, elle peut aussi bénéficier à certains groupes de population, et encourager des prélèvements non durables des eaux souterraines. Les décideurs doivent veiller à ce que l'exploitation des eaux souterraines pour l'irrigation soit une entreprise durable et un développement positif pour toutes les composantes de la société, et pas seulement pour une classe contre les intérêts d'une autre.



9.7 Références et autres lectures

Giordano, M. and K.G. Villholth (Eds.), 2007.

The Agricultural Groundwater Revolution: opportunities and Threats to Development.

CABI, in ass. w. IWMI. 419 pp. ISBN-13: 978 1 84593 172 8.

Nkonya, E., Phillip, D., Mogues, T., Pender, J., and Kato, E. (2010).

From the ground up. Impacts of a Pro-Poor Community-Driven Development Project in Nigeria.

IFPRI, 77pp. doi:10.2499/978089629179.

Shah, T., J.J. Burke, and K.G. Villholth, 2007.

Groundwater: a global assessment of scale and significance.

Chapter 10, 395-423. In: D. Molden (Ed.): Water for Food, Water for Life. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Synthesis Report.

Earthscan. ISBN: 978-1-84407-396-2.

Villholth, K.G., 2013.

Groundwater irrigation for smallholders in Sub-Saharan Africa - a synthesis of current knowledge to guide sustainable outcomes.

Wat. Int. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2013.821644>

Wada, Y., L.P.H. van Beek, and M.F.P. Bierkens, 2012.

Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment.

Wat. Res. Resear., 48, W00L06, doi:10.1029/2011WR010562.

<http://gracelinks.org/468/nexus-food-water-and-energy>

<http://www.water-energy-food.org/>



9.8 Exercice

Jeu: La tragédie des biens communs, les ressources en eau souterraine

Les règles du jeu

Version: 19 Sep. 2013

Frank van Weert (IGRAC) and Karen G. Villholth (IWMI)

Règles générales

Il ya neuf ménages agricoles et un ménage de pêcheurs (il ya neuf équipes au total dans le jeu).

Les ménages agricoles ont chacun un terrain agricole de 100 hectares et ont chacun leur propre forage d'eau (nécessaire pour l'irrigation avec l'eau souterraine). Un seul type de plante est cultivé.

Seul le ménage de pêcheurs est autorisé et capable de pêcher dans le lac de la communauté, et le niveau d'eau du lac est dépendant du niveau des eaux souterraines. La disposition des forages et le lac est présentée dans la figure 1. Lorsque l'eau souterraine est pompée, certains puits peuvent interférer les uns avec les autres. Cela signifie que le niveau de l'eau dans le forage sera rabattu non seulement par ce forage même, mais aussi par les forages environnants (Figure 2).

Le jeu consiste en une série de simulations, chacune représentant une saison de production.

Chaque ménage agricole peut produire une récolte par série de simulation et le ménage de pêcheurs peut produire une capture de poissons par série de simulation.

Après chaque simulation exécutée, l'eau souterraine et le niveau du lac remontent à leur niveau «normal» (pas d'effet sur la mémoire physique dans le système hydrogéologique).

Exercer des activités de subsistance est associé à des coûts et avantages (voir ci-dessous) et ces coûts et bénéfices s'accumulent sur plusieurs simulations. L'équipe qui, accumule les avantages nets les plus importants au cours de la série de simulations, a gagné. Toutefois, notez que la maximisation de la production (surfaces exploitées) peut ne pas optimiser le revenu net! Plusieurs mécanismes peuvent limiter le résultat net:

1. Le rabattement de la nappe, ce qui implique un coût plus élevé de prélèvement des eaux souterraines
2. L'assèchement du lac, ce qui implique un coût environnemental (santé)
3. Les chocs climatiques qui limitent les rendements des cultures
4. Les coûts de pénalité pour l'extraction d'eau souterraine au dessus d'un seuil supérieur, qui a été décidé par la majorité des propriétaires de forage
5. Tous les ménages commencent avec un capital égal de 0 €.
6. Si un ménage atteint une dette de 250 €, il se retire des activités.
7. Les joueurs sont en mesure de fixer les règles si la majorité est d'accord : mais les coûts de transaction sont pris en compte.

**Bénéfices (par simulation exécutée, par ménage)**

- 2 € / ha dans le cas de l'agriculture
- 150 € pour une prise de poissons

Bénéfices (par simulation exécutée, par ménage)

Type	Montant	Explication
Coût de la vie	25 €/saison	Note: Ne pas jouer (aucune activité de subsistance) vous coûtera de l'argent de toute façon!
Coût de la pêche :	100 €/prise	
Coût de prélèvement	Variable	est fonction du volume de pompage des eaux souterraines, le niveau des eaux souterraines et le prix unitaire par unité de volume (0,002 € / m3)
Coût de l'équipement d'économie d'eau	150 €	Comme les kits d'irrigation goutte à goutte. Implique 20% d'économie d'eau et moindre coûts d'exploitation. L'investissement ne se fait qu'une seule fois lors d'un jeu
Coût environnemental (santé)	35 €	Lorsque le lac s'assèche le ménage de pêcheurs est temporairement à la faillite, tous les ménages paient les coûts liés aux problèmes de santé, causés par le déficit en protéines!
Coût social ou bénéfice	20% de la moyenne des bénéfices nets cumulés de tous les ménages	Payé ou à la charge de tous les ménages dans le tour suivant
Coût de transaction règle de plafonnement	100 € divisé par le nombre de joueurs qui se joignent à la règle pour cette simulation exécutée	Conseils : Convaincre les autres à rejoindre : cela réduira vos coûts de transaction; mais soit conscient des resquilleurs!
Coût de pénalité pour non respect de la règle de plafonnement		Est fixé par ceux qui paient les coûts de transaction des règles de plafonnement et compte tenu de ceux qui ne sont pas en conformité

EXERCICE



Les eaux souterraines
et la sécurité alimentaire

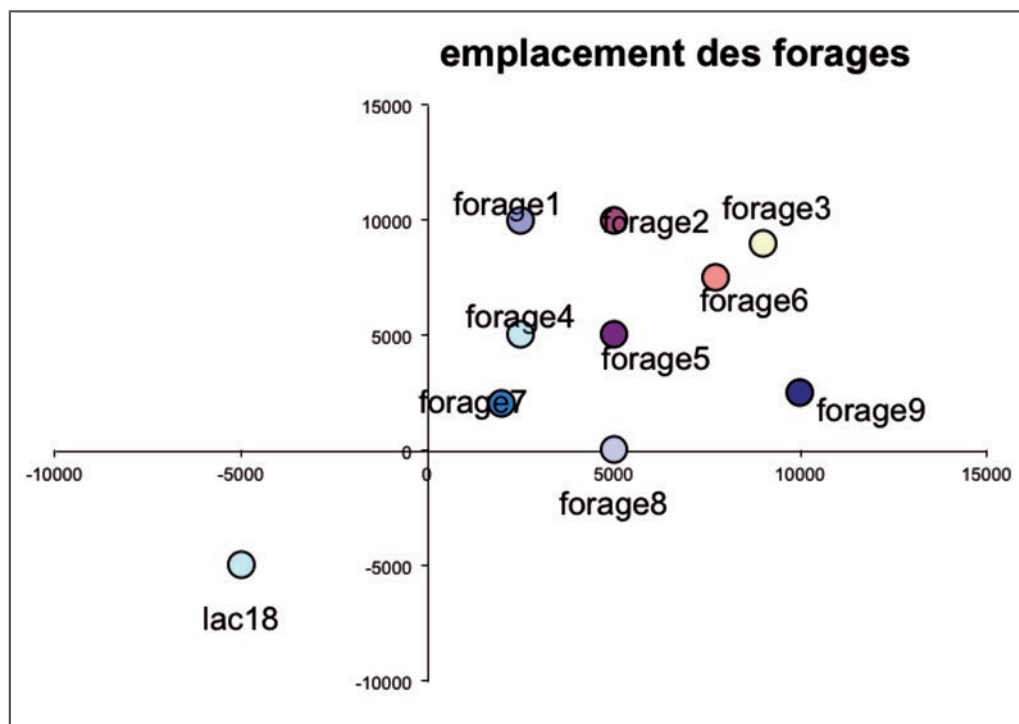


Figure 1. L'emplacement des forages et le lac

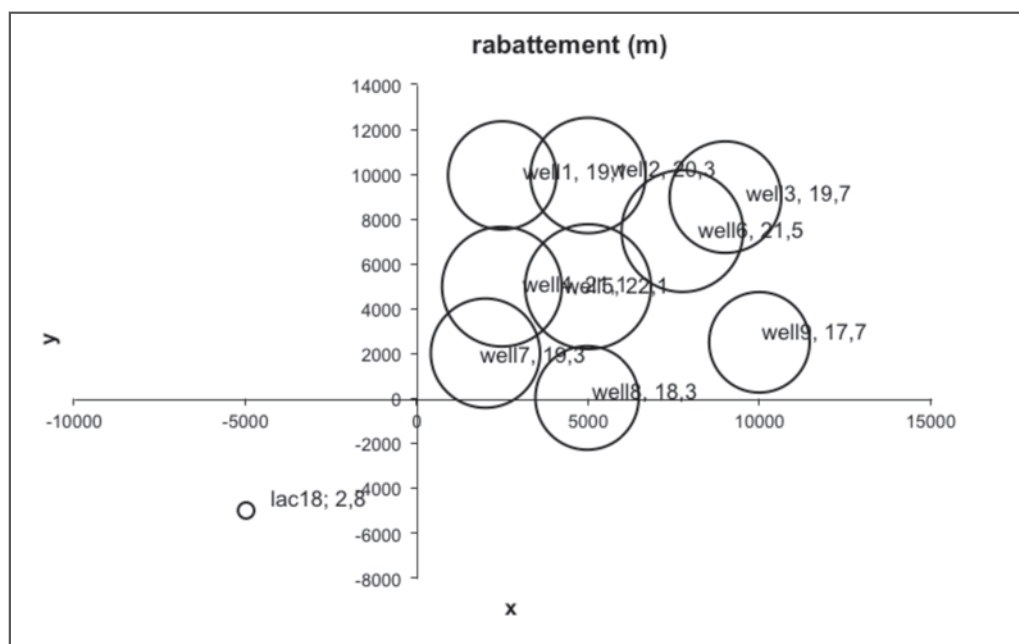


Figure 2. Illustration de l'interférence entre les forages pompés



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



LES EAUX SOUTERRAINES ET L'ENVIRONNEMENT





CONTENU

MODULE 10

Les eaux souterraines et l'environnement

10.1	Introduction	4
10.2	L'interaction eau de surface et eau souterraine	4
10.3	Contamination des eaux souterraines	5
10.4	Écosystèmes tributaires des eaux souterraines (GDE)	8
10.5	Surexploitation des eaux souterraines	11
10.6	Les aspects environnementaux de la gestion des eaux souterraines	12
10.7	Le rôle des Organismes de Bassin pour la gestion environnementale des eaux souterraines	13
10.8	Références et autres lectures	14

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa
(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: IGRAC





LES EAUX SOUTERRAINES ET L'ENVIRONNEMENT

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES:

- Comprendre le lien entre les eaux souterraines et l'environnement
- Apprécier les principales menaces environnementales qui affectent les eaux souterraines
- Apprécier les impacts que l'utilisation ou l'abus de la ressource en eau souterraine peut avoir sur l'environnement.
- Comprendre les interactions entre les contaminants et les aquifères
- Caractériser les écosystèmes tributaires des eaux souterraines

10.1 Introduction

L'eau souterraine est la partie du cycle de l'eau qui se trouve au-dessous de la surface de la Terre. L'exploitation des eaux souterraines pour diverses utilisations humaines, a un impact sur l'environnement. De même les changements dans l'environnement, qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique, ont le potentiel d'affecter la ressource en eau souterraine.

- Il existe deux principales interactions entre l'environnement et les nappes d'eau souterraine : une est fondée sur les flux de l'environnement vers le système des eaux souterraines et l'autre sur les flux du système des eaux souterraines vers l'environnement.
- L'environnement inter-acte avec les eaux souterraines en impactant la quantité et la qualité de la recharge. Certaines de ces interactions sont tout à fait naturelles et d'autres sont modifiées par les activités humaines. Par exemple, les différentes formes d'occupation des sols et la gestion des déchets humains peuvent entraîner la contamination des eaux souterraines. La recharge des nappes peut augmenter ou diminuer à cause des changements naturels ou humains induits pour l'environnement.
- La décharge des eaux souterraines vers l'environnement se produit pour les écosystèmes tributaires des eaux souterraines (GDE, en anglais). Un écosystème dépendant de l'eau souterraine peut être défini comme un endroit où la surface de la nappe phréatique coupe la surface du sol, donnant lieu à une certaine forme d'environnement de zones humides en général pérennes. Les GDE ont tendance à accueillir un ensemble tout à fait distinct de biote, et sont généralement hautement bio-diversifiés et productifs par rapport à la zone sèche environnante. Les GDE peuvent résulter de conditions particulières des nappes d'eau souterraine, ainsi on a différents types de GDE, avec leur spécificité individuelle. Les variétés de GDE sont décrites à la section 4 de ce module.

10.2 L'interaction eau de surface et eau souterraine

Les eaux de surface et les eaux souterraines sont des composantes intimement liées du système hydrologique. Dans les climats humides, les eaux souterraines et les eaux de surface sont souvent en contact direct, tandis que dans les climats arides et semi-arides, le lien est indirect, car elles sont habituellement séparées par une zone non saturée épaisse. Les prélèvements excessifs ou la contamination de l'une d'elles



vont avec le temps, probablement, affecter l'autre. Comprendre les principes de base des interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines est important pour une gestion efficace de toutes les ressources en eau.

L'eau, que cela soit souterraine ou de surface, s'écoule dans la direction du gradient hydraulique. L'eau coule d'une charge hydraulique élevée vers une charge hydraulique faible. Ce principe fondamental régit tous les écoulements d'eau. Afin de déterminer la direction de l'écoulement, il est nécessaire de connaître la charge de l'une ou l'autre extrémité de la trajectoire d'écoulement. Une fois la distribution de la charge est connue, il est facile de déterminer si l'écoulement provient de l'environnement de surface vers les eaux souterraines ou vice versa.

Les eaux de surface et les eaux souterraines interagissent à plusieurs endroits dans tous les bassins versants. Les eaux souterraines qui sont rechargées par les précipitations sur les zones interfluve en hauteur, pourraient décharger des mois ou des années plus tard, vers les cours d'eau, les lacs, les sources et les zones humides. D'autre part, l'eau de surface qui est dérivée de précipitations / ruissellement peut être perdue par infiltration dans le lit de cours d'eau, à travers la couche de sol et les fractures pour se mélanger avec les eaux des nappes.

Les eaux de surface et les eaux souterraines interagissent à différentes échelles physiques et sur de longues périodes de temps. Les interactions les plus significatives incluent (1) les décharges d'eaux souterraines comme un débit de base des cours d'eau pérennes tout au long de l'année; (2) la décharge des eaux souterraines comme émergence naturelle vers les sources, infiltrations, et systèmes de grottes; (3) la recharge provenant d'écoulement de surface vers le système des eaux souterraines; (4) l'écoulement des eaux souterraines vers ou provenant de réservoirs, lacs, étangs et lagunes.

La plupart de l'échange hydrologique à grande échelle, entre les eaux souterraines et de surface dans n'importe quel paysage est contrôlée par : 1) la distribution et l'ampleur des propriétés hydrauliques (conductivité hydraulique, transmissivité et le coefficient d'emmagasinement), 2) la relation du plan d'eau de surface et le niveau de la nappe phréatique adjacente, modifiée par la perméabilité de l'aquifère, 3) la géométrie et la position du chenal du cours d'eau dans la plaine alluviale (Woessner 2000); 4) l'élévation relative du niveau de l'eau le cours d'eau de surface et dans la nappe, et 5) le contexte climatique : la région de pluviosité abondante favorise la recharge dans les nappes aquifères et les fluctuations rapides du niveau des eaux souterraines.

Quel type de processus d'interaction d'eau de surface et souterraine existent dans l'un des bassins versants de votre région? Énumérer les types et identifier les liens?

10.3 Contamination des eaux souterraines

La contamination est l'introduction de composants biologiques physiques, et chimiques dans le système environnemental à un rythme tel que l'environnement ne puisse s'en accommoder par dispersion, décomposition, recyclage ou en les stockant sous une forme inoffensive. Dans ce cas, le contaminant occasionne un dégât structurel ou fonctionnel du système environnemental, et peut causer aussi un dommage à la santé humaine. Toute activité de développement (urbanisation, activité industrielle, agricole, et exploitation minière) par l'homme génère des contaminants qui ont un impact à la fois sur les eaux de surface et les eaux souterraines. La contamination



des systèmes d'eau de surface a un impact direct sur l'écosystème aquatique. D'autre part, lorsque des contaminants pénètrent dans le système des eaux souterraines, ils «s'atténuent» dans le système pendant une longue période. Selon la nature des polluants et les conditions physico-chimiques des aquifères, soit les contaminants se dégradent en composants inoffensifs, soit ils sont conservés ou transportés vers des nappes d'eau souterraine qui sont en contact avec les écosystèmes aquatiques, terrestres ou côtiers, comme les lacs, les rivières, les zones humides, les estuaires et l'océan (Figure 10.2).

Urbanisation: L'urbanisation avec de fortes concentrations de population dans des zones localisées augmente considérablement la charge de la pollution, due aux rejets d'eaux usées et d'élimination des déchets solides et donc les risques de pollution des eaux souterraines. Les populations urbaines génèrent d'énormes volumes d'eaux usées et rejettent de grandes quantités de déchets solides et liquides tous les jours contenant des matières plastiques, des produits chimiques, de la graisse et de l'huile, des métaux, verre, papier, déchets organiques, etc. L'absence de réseau d'évacuation des eaux usées, dans la plupart des centres urbains en Afrique, oblige les gens à utiliser des latrines à fosse et / ou rejettent les eaux usées non traitées dans les cours d'eau. Cela crée alors une énorme pollution diffuse du système des eaux souterraines. Les eaux usées contiennent des sels, des bactéries, du phosphore et de nombreux autres produits chimiques. Le ruissellement des rues et des bâtiments porte également des polluants tels que les bactéries, du pétrole et des produits chimiques qui peuvent entrer dans les eaux souterraines.

L'urbanisation apporte aussi avec elle des déchets, des sites de traitement et d'élimination tels que les sites d'enfouissement de déchets solides et des usines de traitement des eaux usées. Ces sources ponctuelles de pollution sont des sites où il existe potentiellement des concentrations de pollution entrant dans les nappes.

Activité Industrielle: L'élimination incontrôlée des effluents industriels a un impact énorme sur les eaux souterraines, en particulier les déchets chimiques et nucléaires. Les déchets industriels sont produits pendant les processus de fabrication. Les déchets industriels peuvent être toxiques, corrosifs ou réactifs. Quelques exemples peuvent être cités : les huiles, les solvants, les produits chimiques, les déchets radioactifs, de la ferraille et bien d'autres. Si ils sont mal gérés, ces déchets peuvent conduire à des conséquences dangereuses par la pollution des eaux souterraines dont les populations dépendent. Les eaux usées provenant des manufactures ou des procédés chimiques dans les industries, contribue beaucoup à la pollution des eaux souterraines. La plupart des grandes industries ont des installations de traitement, mais de nombreuses petites industries n'en ont pas.

Exploitation minière: La prospection et l'exploitation des ressources minérales et énergétiques en Afrique, impliquent des activités qui potentiellement peuvent affecter de manière significative la quantité et la qualité des ressources en eau souterraine existantes dans ces zones.

La pollution chimique est souvent associée à l'exploitation minière. Le principal polluant dans les zones minières actives et abandonnées est le drainage minier acide qui



est riche en métaux lourds. L'oxydation des minéraux sulfurés, tels que la pyrite, produit de l'eau très acide qui dissout alors les métaux lourds et les porte dans le milieu aquatique, y compris les eaux souterraines.

Le dénoyage des ouvrages souterrains est une composante normale de toute exploitation minière. Le dénoyage autour des zones minières abaisse nettement la nappe phréatique, ce qui affecte les écoulements d'eau de surface et l'assèchement des aquifères peu profonds. À l'échelle locale, il peut y avoir des pénuries d'eau pour les communautés en raison de l'assèchement de surfaces d'eau (ruisseaux, rivières, étangs, marécages, lacs) et les sources.

Les impacts de l'exploitation minière peuvent durer de nombreuses décennies. Par conséquent, l'évaluation de l'impact environnemental, la surveillance environnementale, la planification prévisionnelle et les garanties financières doivent être mises en place pour la gestion. Les conditions géochimiques dans le corps du minerai, les stériles et les résidus peuvent changer avec le temps et doivent être suivis. La flexibilité est donc nécessaire pour apporter les changements nécessaires en matière de contrôle de l'eau et le traitement de l'eau après la fermeture des mines.

La gestion active de la mine et la gestion de l'eau peut être nécessaire pendant des années, voire des décennies après la fermeture, selon le type de mine, la taille et la nature de la zone de perturbation, et le type de traitement du minerai utilisé. La fermeture permanente comprend systématiquement tout ou partie de ce qui suit : enlèvement / élimination des produits chimiques; la démolition de la structure ; suppression des routes et des fossés inutiles; désintoxication des déchets; endiguement des résidus et stériles; remblayage des puits; et la gestion active de l'eau, y compris en s'assurant que toutes les normes de qualité des eaux en vigueur sont remplies. Dans de nombreux cas, cela se traduit par l'exploitation et l'entretien d'une installation de traitement d'eau afin d'éliminer les produits chimiques toxiques. Sur les sites où le drainage minier acide est un problème, le traitement de l'eau après la fermeture est nécessaire pour plusieurs années, et dans certains cas, de façon permanente.

Exploitation agricole: L'agriculture a des effets directs et indirects sur la qualité des eaux souterraines. Les impacts directs incluent la dissolution et le transport de quantités excessives d'engrais, de pesticides, d'herbicides, des antibiotiques, des hormones et les matériaux associés, et les modifications hydrologiques liés à l'irrigation et le drainage. Les impacts indirects incluent les changements dans les interactions eau-roche dans les sols et les nappes aquifères causés par une concentration accrue des principaux ions et des métaux. De nombreuses études indiquent que les pratiques agricoles ont conduit à la contamination par les nitrates (NO_3^-) et par les pesticides des eaux souterraines à des concentrations localisées dans les aquifères peu profonds.

Une agriculture durable est l'un des plus grands défis à atteindre dans les économies en développement rapide en Afrique. Selon la FAO, la durabilité implique que l'agriculture non seulement, assure un approvisionnement alimentaire, mais que ses effets sur la santé humaine, environnementaux, socio-économiques soient reconnus et pris en compte dans les plans nationaux de développement. Cependant, ce n'est pas la priorité dans les zones pauvres puisque l'attention se focalise sur l'atteinte de la sécurité alimentaire.



Les contaminants potentiels des eaux souterraines dus à l'activité agricole sont :

Nutriments: Le risque lié aux nutriments tels que l'azote et le phosphore, atteignant les eaux souterraines, dépend de la méthode d'application des éléments nutritifs et de leur étendue, le type de plantation et le type de sol. Le phosphore est très peu soluble dans l'eau, et atteint rarement la nappe, sauf dans les sols très perméables. En revanche, l'azote est soluble dans l'eau et rapidement se transforme en nitrate, qui peut contaminer la nappe phréatique, sauf si elle est utilisée par les plantes. Des niveaux élevés de nitrates peuvent conduire à l'eutrophisation ¹. des plans d'eau.

Les pesticides sont plus susceptibles de s'infiltrer dans les sols sableux qui contiennent peu de matière organique. L'absorption et la décomposition de pesticides est inefficace dans les sols sableux contenant peu de matière organique, car il y a moins de microbes, et le lessivage peut être rapide à travers les grandes pores du sol. Comme les pesticides sont conçus pour tuer les parasites, son utilisation excessive aura un impact profond sur les personnes qui consomment les eaux souterraines sous-jacentes des zones agricoles.

Les micro-organismes vivent dans l'appareil intestinal animal et humain et sont déversés dans les excréments et le fumier. Quand ils atteignent les eaux de surface, ils peuvent causer des maladies chez les humains et le bétail. L'eau souterraine est largement protégée contre ce type de contamination en raison des processus physique (filtration), chimiques (adsorption) et biologiques (disparition naturelle).

10.4 Écosystèmes tributaires des eaux souterraines (GDE)

Les écosystèmes tributaires des eaux souterraines (GDE) varient; il y'en a qui sont marginaux, d'autres dépendent occasionnellement des eaux souterraines, et d'autres le sont entièrement. Les écosystèmes tributaires des eaux souterraines sont des communautés de plantes, d'animaux et d'autres organismes dont l'étendue et les processus liés à leur vie dépendent de l'eau souterraine.

Certains des écosystèmes qui suivent peuvent dépendre des eaux souterraines :

- Environnements fluviaux où la décharge du débit de base entretient un écoulement pérenne.
- Zones humides dans les zones de décharge des eaux souterraines ou de nappe phréatique peu profonde
- Végétation et faune terrestres, dans les zones où la nappe phréatique est peu profonde ou dans les zones riveraines le long de ruisseaux / rivières
- Écosystèmes aquatiques dans les ruisseaux et les lacs alimentés par les eaux souterraines
- Systèmes karstiques
- Sources
- Écosystèmes marins côtiers et d'estuaires

¹ Eutrophisation : le processus par lequel une eau de surface acquiert une concentration élevée de substances nutritives, en particulier des phosphates et des nitrates. Celles-ci favorisent généralement la croissance excessive d'algues. Comme les algues meurent et se décomposent, des niveaux élevés de la matière organique et les organismes en décomposition, soustraient à l'eau l'oxygène disponible, provoquant la mort d'autres organismes, tels que les poissons. L'eutrophisation est un processus naturel, lent pour un plan d'eau, mais l'activité humaine accélère grandement le processus.



Activités constituant des menaces pour les écosystèmes tributaires des eaux souterraines

Les principales activités constituant des menaces sont :

- exploitation intensive des ressources en eau souterraine
- changements dans l'occupation des sols - en particulier le changement de la végétation indigène sur les terres agricoles
- le développement et l'expansion agricole
- drainage et substrat minier acide associés à l'exploitation minière
- déviation de rivière et construction de barrage
- aménagements commerciaux, urbains ou de loisirs.

Quelles sont les quelques activités menaçant les écosystèmes tributaires des eaux souterraines dans votre bassin versant?

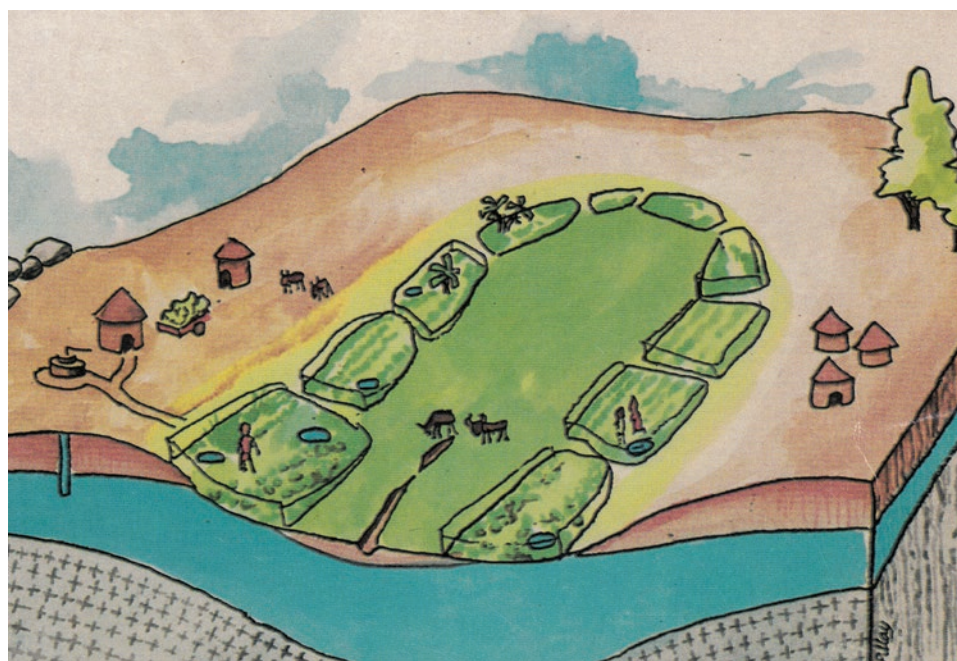


Figure 10.1. Les écosystèmes tributaires des eaux souterraines se rencontrent lorsque le niveau de la nappe est intercepté par la surface terrestre, ce qui occasionne la formation de zones humides pérennes. Pendant les périodes de sécheresse prolongées, ils servent de refuges pour la flore et la faune. Cet exemple montre une «Dambo» qui est utilisée pour l'arrosage de jardin au Zimbabwe (Source: Université du Zimbabwe).

Ces activités peuvent potentiellement modifier les niveaux des eaux souterraines et la qualité de l'eau utilisée par les écosystèmes. Les écosystèmes sont, dans une large mesure, dépendant des eaux souterraines, et ceux qui occupent une bande écologique très étroite et des zones arides et semi arides pourraient être complètement éliminés même par des changements relativement petits dans le régime de l'eau ou de la qualité de l'eau. En saison sèche, surtout dans les zones moins humides et semi-arides en Afrique, le débit de base des cours d'eau est entretenu entièrement à partir des eaux souterraines. Cela rend la gestion de ces eaux souterraines très importante à la fois pour l'homme et l'environnement où la faune, la flore et les gens dépendent de la disponibilité des eaux de surface.

Beaucoup d'écosystèmes existent dans des environnements qui ont été modifiés par l'activité humaine. Certains ont vu le jour en raison des activités humaines, telles que



les zones humides qui peuvent exister en aval des usines de traitement des eaux usées ou des sites de décantation des mines. D'autres se sont taris à la suite d'une ou plusieurs activités dangereuses indiquées ci-dessus.

Quelques écosystèmes tributaires des eaux souterraines, sont vulnérables à une légère baisse des nappes en raison de l'utilisation excessive et / ou une diminution de la recharge. Les prélèvements d'eau souterraine par les humains peut abaisser les niveaux des nappes dans les aquifères libres, et le niveau piézométrique dans les aquifères captifs. Le résultat peut être une modification du timing, de la disponibilité, et du volume des flux d'eau souterraine vers les écosystèmes.

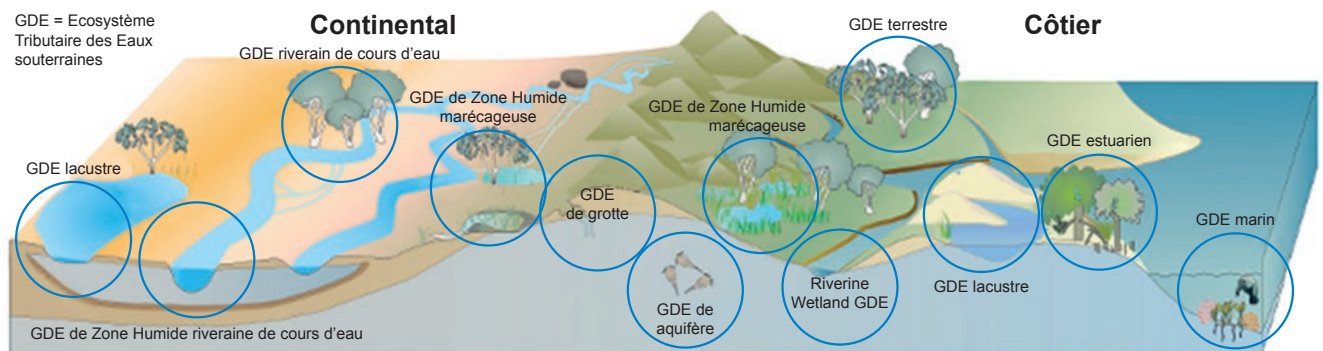


Figure 10.2. Des exemples d'écosystèmes tributaires des eaux souterraines, où la nappe maintient directement ou indirectement des écosystèmes terrestres et aquatiques. (Source: <http://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/aquatic-ecosystems-natural/groundwater-dependent/>)

Certaines des méthodologies de planification et de mise en œuvre coordonnée, qui sont appropriées pour minimiser les impacts négatifs sur les écosystèmes sont (1) le maintien de schémas naturels de réalimentation et de décharge; (2) minimiser les perturbations du niveau de la nappe qui sont critiques pour les écosystèmes; (3) la protection de la qualité des eaux souterraines en évitant l'ajout de contaminants toxiques; et (4) la réhabilitation des systèmes d'eau souterraine dégradés là où c'est possible.

Les débits environnementaux

Les débits environnementaux sont la quantité et le timing des écoulements de surface et souterrains requis pour maintenir les composants, les fonctions, les processus et la résilience des écosystèmes aquatiques et les services qu'ils fournissent aux populations. Les débits environnementaux visent à imiter les schémas et les résultats écologiques du régime d'écoulement naturel. Afin de maintenir un débit environnemental sain, la gestion coordonnée des eaux de surface et des eaux souterraines est essentielle. Il existe des cadres souples et itératifs qui peuvent aider à l'évaluation des débits environnementaux dans un bassin hydrographique donné. Le cadre suivant comprend trois niveaux d'évaluation: 1) l'évaluation hydrologique globale: au bureau et sur le terrain (identification des indicateurs hydrologiques, les limites écologiques de modifications hydrologiques); 2) l'interprétation scientifique des processus et des impacts: groupe de discussion; et 3) l'examen des compromis et la prédiction des impacts et des recommandations.



Même si l'évaluation des débits environnementaux est axée sur l'eau de la rivière, la solution de gestion reposera sûrement sur l'utilisation durable des eaux souterraines afin de maintenir le débit de base des cours d'eau.

Certains objectifs pour la gestion des écosystèmes sont proposés de ci-dessous :

- Gérer les écosystèmes de manière à répondre aux divers mandats légaux, y compris, mais sans s'y limiter, ceux associés aux plaines inondables, les zones humides, la qualité et la quantité de l'eau, le drainage minier acide et le substrat, les espèces en voie de disparition, et des aires culturelles.
- Gérer les écosystèmes en vertu des principes de la GIRE, tout en insistant sur la protection et l'amélioration de la nappe phréatique.
- Délimiter et évaluer à la fois les eaux souterraines et les écosystèmes tributaires avant la mise en œuvre de tout projet susceptible d'affecter négativement les ressources. Déterminer les limites géographiques des écosystèmes en fonction des caractéristiques propres à chaque site d'eau, la géologie, la flore, et faune.
- Établir les limites maximales pour lesquels les niveaux d'eau peuvent être rabattus, à une certaine distance d'un écosystème afin de protéger la nature et la fonction de l'écosystème.
- Pendant l'exploitation d'un forage, fixer une distance minimale par rapport à une rivière, un ruisseau, une zone humide

*Quelles autres
mesures préconisez-
vous?*

10.5 Surexploitation des eaux souterraines

La baisse de niveau des eaux souterraines est la conséquence inévitable et naturelle des prélèvements d'eau d'un aquifère. La surexploitation des eaux souterraines peut potentiellement compromettre le bilan de l'eau dans les bassins versants des rivières et des zones humides en liaison hydraulique avec les eaux souterraines, et peut conduire à des réductions de débit de base. Cependant, «surexploitation» est un jugement de valeur. Jusqu'à quand parle-t-on de «surexploitation»? On considère qu'il y a surexploitation s'il y a des effets irréversibles sur l'aquifère. Bien sûr, à ce stade, il est déjà trop tard parce que les dommages permanents à l'environnement ont déjà eu lieu. On peut considérer une surexploitation, lorsque les avantages des prélèvements d'eau souterraine sont éclipsés par les effets négatifs découlant de la réduction du débit de base et du débit de la source.

L'octroi de licences pour les eaux souterraines dans les zones sensibles, nécessite la compréhension globale de la corrélation entre les plans d'eau de surface et les eaux souterraines. Cette information ne sera pas facile à réaliser sans un système de suivi bien conçu et une bonne série de temps de données pour aider à l'évaluation de cette relation, qui peut ensuite être utilisée comme une base pour ajuster les limites de prélèvement.

La réponse des aquifères au sur-pompage dépend des caractéristiques de l'aquifère, comme la transmissivité et la porosité efficace (aquifère libre) ou le coefficient d'emmagasinement (captif) et le taux de recharge de l'aquifère. Les aquifères captifs ou semi-captifs montreront une réponse rapide et importante de la charge (hydraulique) au pompage; ce qui peut induire les différences les plus importantes de la charge et des flux par rapport à une rivière. Les affaissements de sols adjacents en raison



d'aquifères exploités, peuvent résulter de baisses de pression de fluide, dus aux prélèvements d'eau souterraine.

Il est important de faire preuve de souplesse lors de l'élaboration de solutions de gestion pour relever les défis environnementaux. Conserver les eaux souterraines en réduisant le pompage, peut être accompli grâce à des contrôles administratifs, législatifs, ou de gestion, y compris des incitations économiques pour réduire la demande. Il est important de cibler les réductions qui font économiser l'eau. Dans les zones agricoles, par exemple, l'amélioration de l'efficacité est parfois recherchée par le revêtement des canaux d'irrigation pour réduire les infiltrations. Bien que cela permette d'économiser l'eau d'irrigation, il permet également de réduire le flux de retour vers les nappes. Une stratégie plus efficace consisterait à planter une culture différente qui utilise moins d'eau.

La gestion conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines pourrait aider à réduire la pression sur les deux ressources. La gestion conjointe des eaux de surface et souterraines peut être fondée sur le fait que les prélèvements d'eau surface, les barrages, la déviation etc. ont des impacts amont / aval très importantes. Avec les prélèvements des eaux souterraines, les impacts sont centrés autour des points de captage avec beaucoup moins d'effets amont / aval importants. Des méthodes d'optimisation peuvent être utilisées pour positionner les centres de pompage afin de maximiser les retraits tout en minimisant les effets néfastes amont / aval tels que la baisse du débit de base. Cela peut conduire les futurs gestionnaires de l'eau à mettre en œuvre un zonage approprié ou à exiger des permis, où les taux de pompage admissibles varient avec l'emplacement en raison des propriétés hydrogéologiques, la distance des limites, et les réponses de l'unité d'eau de surface.

Une réallocation entre secteurs économiques offre aussi la possibilité d'optimiser l'utilisation conjointe. Par exemple les ressources en eau souterraine potable peuvent être substituées à l'eau de surface non traitée, qui peut ensuite être dirigée vers la demande d'irrigation.

10.6 Les aspects environnementaux de la gestion des eaux souterraines

La gestion des eaux souterraines est une partie importante de la gestion des ressources en eau, afin de soutenir les moyens de subsistance de vastes populations rurales, la croissance rapide de l'urbanisation, de l'irrigation et de l'activité industrielle. Les trois principales considérations pour la gestion des eaux souterraines, du point de vue environnemental, sont les suivantes :

- (i) L'exploitation des eaux souterraines doit être durable sur le long terme. Cela signifie que le taux de prélèvement doit être inférieur ou égal au taux de recharge. Si le taux de prélèvement est plus élevé que le taux de recharge, elle se traduira comme une exploitation minière de l'eau souterraine; ce qui devrait être soigneusement pris en considération pour certains cas spécifiques. Si un tel schéma se produit, les niveaux des eaux souterraines vont continuer à diminuer, ce qui augmentera progressivement les coûts de pompage, et puis à un certain niveau, il ne serait plus économique de continuer à pomper l'eau souterraine pour de nombreux usages tels que la production agricole.



- (ii) Les activités humaines qui pourraient nuire à la qualité des eaux souterraines pour une utilisation éventuelle future, doivent être contrôlées. Cela comprend le lessivage des produits chimiques comme les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles extensives et intensives, la contamination par les substances toxiques et autres produits chimiques indésirables provenant des décharges et autres pratiques d'élimination des déchets nuisibles à l'environnement, la contamination bactérienne et virale due à un traitement inadéquat des eaux usées et des pratiques d'élimination des eaux usées, et en plus l'augmentation de la salinité due à des pratiques d'irrigation inefficaces ou inappropriées, et la salinisation due à un pompage excessif dans les zones côtières.
- (iii) Une mauvaise gestion des eaux souterraines contribue souvent à d'autres impacts environnementaux négatifs tels que la dessiccation des zones humides, la diminution du débit de base, etc.

Les évaluations d'impact environnemental peuvent être considérées comme un outil de planification pour aider les planificateurs à anticiper les impacts potentiels futurs des activités alternatives d'exploitation des eaux souterraines; il s'agit des impacts à la fois bénéfiques et néfastes, en vue de choisir la solution «optimale» qui maximise les effets bénéfiques et atténue les incidences négatives sur l'environnement. Elle peut être utilisée non seulement pour les projets d'exploitation des eaux souterraines, mais aussi pour les plans, programmes et politiques (Biswas, 1992).

10.7 Le rôle des Organismes de Bassin pour la gestion environnementale des eaux souterraines

Quels sont les rôles que les organismes de bassin peuvent prendre pour s'assurer que la gestion des eaux souterraines réalisée est sensible aux besoins de l'environnement?

Disponibilité de l'eau :

Ce module a discuté de l'impact des eaux souterraines sur le débit de base et sur les écosystèmes tributaires des eaux souterraines. Les Organismes de Bassin pourraient effectuer des analyses de l'hydrogramme de la rivière afin de déterminer la partie de l'écoulement total de la rivière dans le bassin versant qui peut être attribuée au débit de base. Les comparaisons entre le débit de la rivière dans les zones où l'utilisation des eaux souterraines est intensive, et des zones où les eaux souterraines ne sont pas exploitées, peuvent apporter des réponses. Cependant le suivi à la fois du pompage des nappes, des séries chronologiques des niveaux d'eau souterraine et des niveaux limnimétriques de la rivière, sera essentiel pour gérer ces interactions. Sans ces données, la gestion devient juste un travail d'approximation, et peut avoir un impact économique négatif, sans apporter d'avantages à l'écoulement de la rivière.

Les Organismes de Bassin pourraient réaliser un inventaire des écosystèmes tributaires des eaux souterraines et quantifier leur valeur économique et environnementale. Si ces écosystèmes sont potentiellement menacés par l'exploitation des ressources en eau souterraine ou des changements dans l'occupation des sols, l'Organisme de Bassin pourrait instituer une surveillance et délivrer des permis de prélèvement des eaux souterraines de courte durée avec un suivi régulier. Un sys-



tème de classement des priorités peut être utile pour s'assurer que les écosystèmes tributaires, les plus vulnérables et les plus précieux sont protégés. Les écosystèmes pourraient commencer à changer de manière inacceptable, bien avant la dessiccation complète, et les seuils de ces changements doivent être compris et protégés.

Les Organismes de Bassin doivent également évaluer la valeur économique et environnementale du maintien du débit de base. Les eaux souterraines qui se déchargent en débit de base, ont des impacts significatifs en aval, un facteur qui doit être pris en considération lors de l'attribution des permis de prélèvement des eaux souterraines.

10.8 Références et autres lectures

Biswas A.k (1992)

Environmental impact assessment for groundwater management.

Journal of Water Resources Development, 8: 2, 113 — 117

Böhlke J. K(2002)

Groundwater recharge and agricultural contamination.

Hydrogeology Journal 10:153–179

Konikow, L.F., · Kendy, E. (2005).

Groundwater depletion: A global problem.

Hydrogeol Journal 13:317–320

Woessner WW (2000)

**Stream and fluvial plain groundwater interactions:
rescaling hydrogeologic thought.**

Ground Water 38(3): 423–429

Web resources:

http://www.un-igrac.org/dynamics/modules/SFIL0100/view.php?fil_Id=176

<http://www.deh.gov.au/water/rivers/nrhpgroundwater/chapter2.html>



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:



MODULE



EAU SOUTERRAINE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE





CONTENU

MODULE 11

Eau souterraine et changement climatique

11.1	Introduction	4
11.2	L'eau souterraine dans le cycle hydrologique	5
11.3	Variabilité climatique et changement climatique	6
11.4	Scénarios de changement climatique	8
11.5	Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines	8
11.6	Changement climatique et croissance de la population	12
11.7	Implications pour les secteurs tributaires des eaux souterraines	13
11.8	Adaptation au changement climatique	13
11.9	Résumé	18
11.10	Références et lectures en ligne	19

Mentions légales

© Droit d'auteur 2015, tous droits réservés

L'utilisation du manuel est gratuite. Les utilisateurs doivent toutefois faire référence à la source, comme suit: «L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». Les modifications ne sont autorisées qu'avec l'accord de AGW-Net. Les droits d'auteur des photos sont détenus par leurs propriétaires respectifs

A4A – Aqua for All

AGW-Net – Le Réseau Eaux Souterraines en Afrique

RAOB – Réseau Africain des Organismes de Bassin

BGR – Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles

UNDP-Cap-Net

BMZ – Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement

GWP – Partenariat Mondial de l'Eau

igrac – Centre International pour l'Évaluation des Ressources en Eau Souterraine

imawesa – Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa

(Gestion améliorée de l'eau agricole en Afrique Australe et de l'Est)

IWMI – L'Institut International de Gestion de l'Eau

Equipe de rédaction: Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR

Mise en page: ff.mediengestaltung GmbH, Hannover, Allemagne

Photo: IWMI





EAU SOUTERRAINE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES :

- Se familiariser avec les concepts de base de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines
- Explorer le lien entre les impacts du changement climatique et les ressources en eau souterraine
- Comprendre le potentiel d'adaptation climatique par la gestion des eaux souterraines

11.1 Introduction

L'eau souterraine est la principale source d'eau potable en Afrique et a un rôle de plus en plus important en irrigation pour lutter contre l'insécurité alimentaire croissante. Ce module traite à la fois de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau souterraine et le rôle que l'eau souterraine peut jouer dans l'adaptation aux impacts du changement climatique. Bien que l'accent soit mis sur l'Afrique, il est important de rappeler l'étendue mondiale du changement climatique, et de considérer les impacts sur l'échelle du cycle hydrologique global.

Environ 60 % (peut être 80 %) de la population de l'Afrique (qui en compte 1 milliard), vivent dans les zones rurales et comptent sur l'eau souterraine pour approvisionner leur communauté ou leurs ménages pour les besoins domestiques et autres. Actuellement, il ya plus de 300 millions de personnes en Afrique qui n'ont pas accès à l'eau potable, dont beaucoup sont parmi les plus pauvres et les plus vulnérables dans le monde (MacDonald et al. 2012). La variabilité et le changement climatique influencent les systèmes d'eaux souterraines à la fois directement par la réalimentation par la recharge et indirectement par des changements dans l'utilisation des eaux souterraines. Ces impacts peuvent être modifiés par l'activité humaine, comme le changement dans l'occupation des sols (Taylor et al. 2013).

Le changement climatique se manifeste par la modification du régime des précipitations et de l'évaporation dans les bassins fluviaux modifiant ainsi le bilan hydrologique. Il faut s'attendre à ce que les changements dans les précipitations annuelles moyennes, ainsi que dans leur distribution spatiale et temporelle, influencent le bilan de l'eau dans son ensemble, y compris la recharge des nappes.

Les bassins fluviaux subissent l'interaction des changements environnementaux et les activités humaines à différentes échelles spatiales et temporelles. L'évolution des températures régionales présentées dans le GIEC (2001) montrent les tendances des cellules de la grille située au Soudan et en Ethiopie dans l'ordre de +0,2 à 0,3 ° C / décennie de 1946 à 1975. Hulme et al. (2001) ont constaté une tendance moyenne africaine de 0,5 ° C / siècle. Selon Conway (2005), il est fort probable que les températures augmentent dans le bassin du Nil, conduisant à des pertes plus importantes

Des taux élevés d'évaporation, augmentent l'aridité et donc la désertification du fait de la perte d'humidité du sol.

Même si beaucoup d'attention est accordée aux effets négatifs, il ne faut pas oublier que certaines zones bénéficieront de températures plus basses et de hausse de la quantité moyenne de précipitations qui facilite une augmentation de la recharge des nappes d'eau souterraine et donc la réserve.

11.2 L'eau souterraine dans le cycle hydrologique

Le cycle hydrologique représente le mouvement continu de l'eau dans l'atmosphère, la surface de la terre (glaciers, le manteau neigeux, les cours d'eau, les zones humides et les océans) et les sols et roches. Le terme eau souterraine se réfère à l'eau dans les sols et les formations géologiques qui sont entièrement saturés. L'eau souterraine constitue une partie du cycle hydrologique, qui est rechargée par les précipitations. Le cycle hydrologique est principalement régi par l'équilibre entre l'entrée (Précipitations / pluie) et la sortie (évapotranspiration, ruissellement et décharge) (Fig. 11.1).

Les composantes du bilan des eaux souterraines sont affichées dans la figure 11.1, elles consistent à la recharge (recharge directe et flux inter-aquifère) et la décharge (écoulement des nappes vers les cours d'eau, les sources, lacs, zones humides, océans, des prélèvements d'eau souterraine, l'évapotranspiration). La différence entre la recharge et la décharge détermine le changement dans le volume de l'eau souterraine.

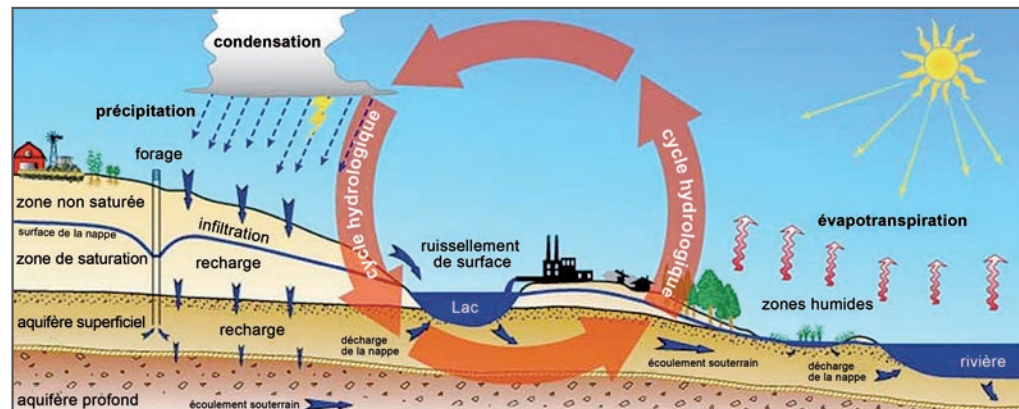


Figure 11.1 : Composantes hydrologiques [Précipitations (pluie) - ET-Ruissellement - Recharge = variation de stockage]

Toute variation climatique peut potentiellement affecter le flux d'entrée vers les eaux souterraines (recharge) et de sortie dans les plans d'eau de surface comme le débit de base et les sources (décharge), soit directement, soit indirectement, puisque la vapeur retourne dans l'atmosphère.

Un exemple d'un impact direct serait une réduction de la recharge en raison d'une diminution des précipitations. Un impact indirect serait l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers due à l'élévation du niveau de la mer, ce qui représente une menace majeure pour la qualité des nappes d'eau souterraine du littoral.



Cependant les impacts probables du changement d'occupation des sols et des prélèvements d'eau souterraine sur la quantité et la qualité des nappes devraient être les impacts indirects les plus importants du changement climatique sur les eaux souterraines. Ces changements peuvent inclure une augmentation de l'usage de l'eau souterraine pour l'irrigation, pour compenser la baisse de la production agricole pluviale.

11.3 Variabilité climatique et changement climatique

La variabilité climatique se réfère à un écart du climat, de la moyenne météorologique à long terme sur une certaine période de temps, par exemple, un mois spécifique, la saison ou l'année. Ces variations sont une composante naturelle du climat, causées par des changements dans les systèmes qui influent sur le climat, comme le système de circulation générale.

D'autre part, le changement climatique est «un état altéré du climat qui peut être identifié par le changement dans la moyenne et / ou de la variabilité de ses propriétés, et qui persiste pendant une période prolongée, généralement pendant des décennies ou plus». Elle peut être due à «des processus internes naturels ou des forcing externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou dans l'occupation des sols» (GIEC, 2007).

les modèles prévus de la variation des précipitations

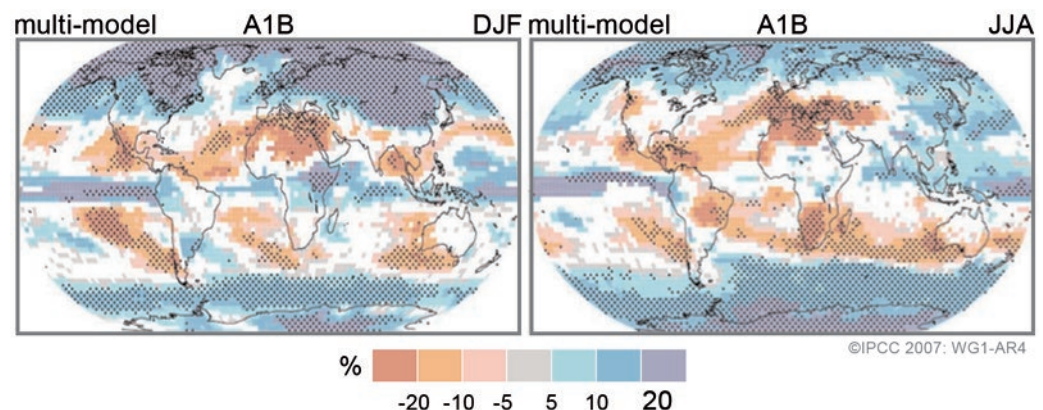


Figure 11.2: Les variations relatives des précipitations (%) pour la période 2000-2099, par rapport à la période 1980-1999. Les valeurs sont des moyennes multimodales basées sur le scénario A1B du SRES pour décembre-février (à gauche) et juin-août (à droite). Les zones blanches sont celles où moins de 66% des modèles concordent sur le signe du changement et les zones en pointillés sont celles où plus de 90% des modèles concordent sur le signe du changement (GIEC, 2007).

Au cours des 150 dernières années les températures moyennes mondiales ont augmenté avec le réchauffement qui s'est accéléré dans les 25 à 50 dernières années. Ce processus se poursuivra dans l'avenir (GIEC, 2007) et il a un impact sur les précipitations annuelles moyennes (Fig. 11.2). Le climat varie aussi en réponse à des phénomènes naturels, à l'échelle inter-décennale, inter-annuelle, saisonnière, tels que l'Oscillation du Sud El Nino. La présence et le degré d'influence de ces phénomènes naturels varient selon les pays et même les bassins versants.



Les variations climatiques induiront le changement hydrologique. Le tableau 11.1 résume les variations du climat et de l'hydrologie, qui devraient se produire en raison du réchauffement climatique. Les impacts potentiels de ces changements sur les ressources en eau souterraine sont discutés dans les sections suivantes.

Tableau 11.1 Impacts projetés du réchauffement mondial pour le climat primaire et les indicateurs hydrologiques

Température	Les températures devraient augmenter dans le 21 ^{ème} siècle, avec une répartition géographique similaire à celle observée au cours des dernières décennies. Le réchauffement devrait être plus important sur le continent et dans les latitudes nordiques élevées, et moins important sur les Océans du Sud et certaines parties de l'océan Atlantique Nord. Il est très probable que les extrêmes de chaleur et les vagues de chaleur continueront à devenir plus fréquents.
Précipitation	A l'échelle mondiale, la précipitation devrait augmenter, mais cela devrait varier géographiquement - certaines régions sont susceptibles de connaître une augmentation et d'autres une baisse des précipitations moyennes annuelles. L'augmentation de la quantité de précipitations est probable à des latitudes élevées. Dans les basses latitudes, à la fois des baisses et des hausses régionales des précipitations sur les terres peuvent avoir lieu. Beaucoup (pas tous) de zones de fortes précipitations actuellement devraient connaître une augmentation des précipitations, alors que dans de nombreuses zones de faibles précipitations et de forte évaporation, les précipitations devraient en prévision diminuées. Les zones touchées par la sécheresse vont probablement augmenter et les événements pluviométriques extrêmes sont susceptibles d'augmenter en fréquence et en intensité.
Élévation du niveau de la mer	On s'attend à ce que le niveau mondial moyen de la mer augmente en raison du réchauffement des océans et de la fonte des glaciers. Les projections les plus optimistes de élévation moyenne globale du niveau de la mer à la fin du 21 ^e siècle sont comprises entre 0,18-0,38 m; mais un scénario extrême donne une hausse jusqu'à 0,59 m. Dans les régions côtières, les niveaux de la mer sont susceptibles d'être également affectés par le déferlement de grandes vagues extrêmes et de tempête.
Évapotranspiration	La demande évaporative, ou l'évaporation potentielle, est influencée par l'humidité atmosphérique, le rayonnement net, la vitesse du vent et la température. Selon les projections, de manière générale, elle devrait augmenter, en raison de températures plus élevées. La transpiration peut augmenter ou diminuer.
Ruissellement	Le ruissellement est susceptible d'augmenter dans les plus hautes latitudes et dans certaines zones tropicales humides, y compris les zones peuplées de l'Est et du Sud-Est de l'Asie, et diminuer avec la plupart des latitudes moyennes et tropicales sèches, où actuellement l'eau est en déficit. Les volumes d'eau contenue dans les glaciers et la couverture neigeuse sont susceptibles de diminuer, entraînant une diminution des écoulements en été et en automne dans les zones touchées. Les changements dans la saisonnalité des eaux de ruissellement peuvent également être observés en raison de la fonte rapide des glaciers et moins de précipitations sous forme de neige dans les régions alpines.
Humidité du sol	La teneur moyenne annuelle de l'humidité du sol devrait diminuer dans de nombreuses régions subtropicales et généralement dans la région méditerranéenne, et à des latitudes élevées où la couverture de neige diminue. L'humidité du sol est susceptible d'augmenter en Afrique de l'Est, en Asie centrale, le cône de l'Amérique du Sud et d'autres régions avec des augmentations substantielles dans les précipitations.

* Par rapport à 1990, année de référence. Source: GIEC (2007), SKM (2009)



11.4 Scénarios de changement climatique

Il existe une incertitude considérable entourant l'avenir du climat de l'Afrique comme indiqué dans le quatrième rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) (Christensen et al., 2007).

Premièrement, les *températures moyennes sont susceptibles d'augmenter*. Hulme et al. (2000) montrent que pour l'Afrique dans son ensemble, le réchauffement au 20^{ème} siècle est survenu à un taux d'environ 0,5 ° C à travers le siècle, et que le taux de réchauffement a augmenté dans les trois dernières décennies. A l'avenir, sur la base des prévisions dans le cadre du scénario moyen-élevé des émissions de gaz à effet de serre, la température moyenne annuelle de l'air entre 2080 et 2099 devrait être plus élevée de 3-4 ° C qu'elle ne l'était entre 1980 et 1999.

Deuxièmement, *la pluviométrie annuelle est susceptible de baisser dans le Nord du Sahara et en Afrique Australe*, et est susceptible d'augmenter dans les hauts plateaux éthiopiens. Des prévisions plus amples sont difficiles à faire, puisque les changements dans les précipitations sont beaucoup moins certains que pour la température, en particulier pour le Sahel et la côte Ouest-Africaine. En descendant à l'échelle des grands bassins fluviaux avec les modèles de circulation actuelles, il se pourrait qu'il y ait plus de «bruit» hydrologique, plutôt que d'avoir un aperçu clair (Calow et MacDonald, 2009).

Enfin, *les précipitations sont susceptibles de devenir de plus en plus imprévisible en termes de durée et d'intensité*, avec des augmentations de la fréquence des événements extrêmes - sécheresses et inondations. La pluviométrie moyenne annuelle est déjà très variable à travers l'Afrique, allant de presque zéro sur certaines parties du Sahara à environ 10 000 mm dans le golfe de Guinée. La variabilité inter-annuelle et saisonnière est susceptible d'augmenter.

11.5 Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines

Introduction

L'eau souterraine sera moins directement et plus lentement touchée par le changement climatique que les eaux de surface. C'est parce que les rivières se reconstituent sur une échelle de temps plus courte, et la sécheresse et les inondations se retrouvent rapidement dans les niveaux d'eau de la rivière. L'eau souterraine, par contre, sera affectée plus lentement.

Les principaux domaines où le changement climatique affecte l'eau souterraine est par la recharge, la décharge et le stockage. En volume l'utilisation des eaux souterraines par l'irrigation est beaucoup plus importante; les impacts dans le futur de la variabilité climatique, ainsi que du changement affectant l'eau souterraine peuvent être amplifiés par des effets indirects sur la demande en eau de l'irrigation (Taylor et al., 2013).

Cependant l'usage domestique des eaux souterraines est l'usage le plus répandu,

couvrant plus de 2 milliards de personnes. Bien que l'eau souterraine soit généralement considérée comme une ressource «résistante à la sécheresse», la plupart des aquifères peu profonds qui alimentent les populations rurales sont vulnérables aux sécheresses annuelles ou plus longues. Ce sont les aquifères profonds et captifs qui peuvent présenter des tendances de baisse, après des sécheresses prolongées (BGR, 2008).

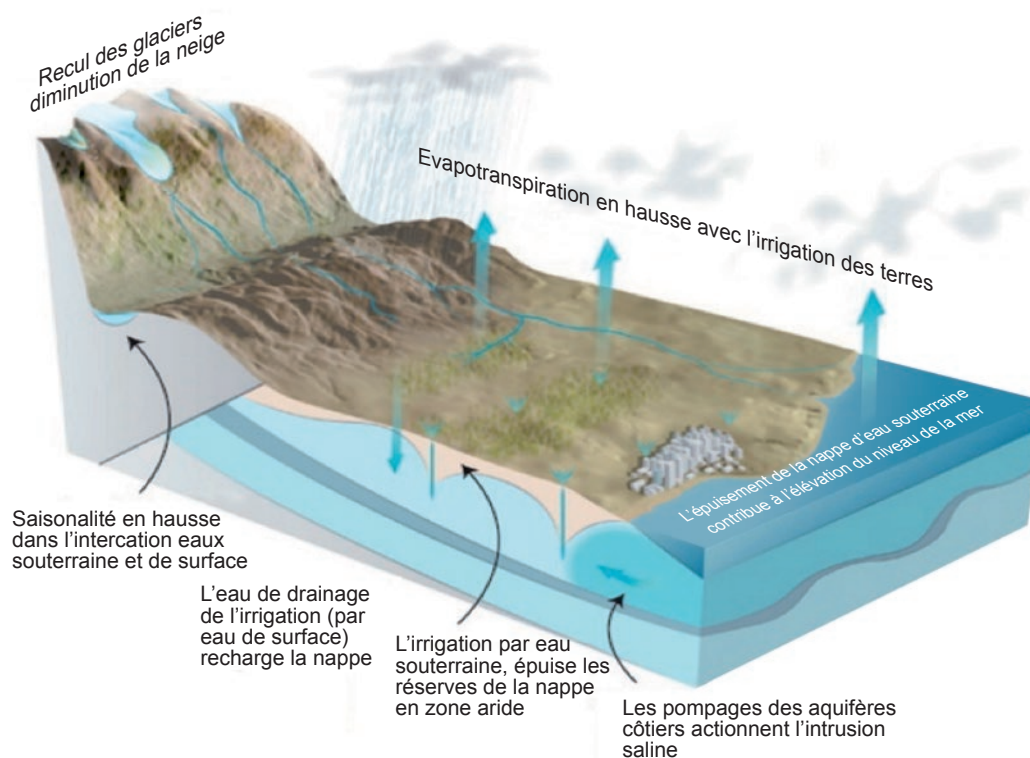


Figure 11.3: Représentation conceptuelle des interactions clés entre les eaux souterraines et le climat (source: Taylor et al., 2013)

La recharge des eaux souterraines par les précipitations, la croissance de l'irrigation pour répondre à la sécurité alimentaire et le pompage des eaux souterraines sont liés entre eux à travers l'impact résultant du changement climatique (Fig. 11.3).

Recharge des nappes souterraines

L'eau souterraine constitue la principale source d'eau à travers l'Afrique, à la fois dans les zones rurales et urbaines. Dans les grandes régions métropolitaines en Afrique, l'eau de surface joue un rôle de premier plan. La recharge des nappes souterraines peut se produire localement, des plans d'eau de surface ou de la précipitation sous forme diffuse, à travers la zone non saturée du sol. La recharge n'est pas seulement influencée par l'ampleur des précipitations, mais aussi par son intensité, la saisonnalité, la fréquence et les changements dans l'occupation des sols.

L'alimentation naturelle des eaux souterraines se produit à la fois par la recharge pluviale diffuse et la recharge ciblée via l'infiltration d'eau de surface (c'est à dire: cours d'eau, zones humides ou les lacs); elle dépend fortement du climat qui prévaut, ainsi que de la couverture du sol et de la géologie sous-jacente. La couverture climatique et des sols déterminent en grande partie les précipitations et l'évapotranspiration, alors



que le sol sous-jacent et la géologie déterminent si un surplus d'eau (précipitations moins évapotranspiration) peut être transféré et stocké dans le sous-sol (Taylor et al., 2013).

Cette eau peut atteindre l'aquifère rapidement, à travers les fractures, ou plus lentement par infiltration à travers des micro-pores dans les sols reposant sur l'aquifère. Une modification de la quantité de pluie efficace va changer la recharge dans les eaux souterraines.

Le réchauffement de la planète dû à l'augmentation de température est important dans le contrôle directement l'évapotranspiration et donc la partie des précipitations qui peut s'écouler à travers le profil du sol vers les aquifères. D'autres facteurs qui influent sur la recharge des nappes comprennent la couverture des sols, les sols, la géologie, la pente et le type d'aquifère.

L'augmentation de la variabilité des précipitations peut diminuer la recharge des nappes dans les zones humides parce que de fortes et plus fréquentes pluies font que la capacité d'infiltration du sol est dépassée; ce qui augmente le ruissellement et donc les inondations. Dans les zones semi-arides et arides, cependant, l'augmentation de la variabilité des précipitations peut augmenter la recharge des nappes, parce que seuls les pluies de forte intensité sont capables de s'infiltrer assez vite avant de s'évaporer, et les aquifères alluviaux sont rechargés principalement par les inondations lors des crues (BGR, 2008).

La recharge est très importante dans la régulation du volume d'eau souterraine. La réduction de la recharge entraînera la baisse du volume des eaux souterraines renouvelables.

Quantité d'eau sortant

La variation climatique extrême a un contrôle sur le bilan hydrologique par la réduction ou l'augmentation de composants d'entrée et de sortie. Les composants sortants incluent l'évapotranspiration, le ruissellement, la décharge des eaux souterraines dans les ruisseaux et sources, et l'eau souterraine pompée à partir des forages.

L'impact du changement climatique sur la décharge des eaux souterraines est en relation avec la baisse du niveau de la nappe, qui est lié au débit de base des rivières et des sources. L'impact peut être plus facilement observé par des changements dans les écosystèmes tributaires des eaux souterraines. Une autre cause de diminution de la décharge est le pompage excessif des eaux souterraines renouvelables, qui peut être pratiqué pour faire face à la pénurie d'eau en raison du changement climatique. Le pompage accru abaisse la nappe phréatique, et réduit ainsi la décharge vers le débit de base.

L'impact du changement climatique sur les paramètres de sortie ne peut pas être le même. En raison de l'augmentation de la température, l'évapotranspiration augmentera, mais il n'y a pas de garantie d'une hausse des précipitations. Si les précipitations diminuent, le ruissellement diminue, et en plus la recharge des nappes souterraines diminue aussi, conduisant ainsi à une baisse du débit de base provenant des eaux souterraines vers les cours d'eau et les sources.



Pour l'évapotranspiration, les impacts directs du changement climatique comprennent :

- Les changements dans l'utilisation des eaux souterraines par la végétation dues à la hausse de température et des concentrations de CO_2 , et
- Les changements dans la disponibilité de l'eau à s'évaporer ou transpirer, principalement en raison de changements dans le régime des précipitations. L'augmentation de la durée et de la fréquence des sécheresses est susceptible d'entraîner de plus grands déficits d'humidité du sol. Lorsque l'eau du sol est épuisée, la végétation ne peut plus compter sur l'eau souterraine pour sa survie (si l'eau souterraine est présente à proximité de la zone des racines). Pendant les périodes sèches, ceci peut conduire à une augmentation de l'évapotranspiration de l'eau souterraine. Les impacts indirects liés à l'occupation des sols, peuvent également affecter l'évapotranspiration de l'eau souterraine.

L'écoulement de l'eau souterraine vers des plans d'eau de surface, sera commandé par les niveaux de charge relative entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Si l'eau souterraine baisse en dessous des niveaux d'eau de surface, l'écoulement des eaux souterraines, comme débit de base ou débit de source ne peut plus se produire. De même, si l'eau de surface s'écoulait vers le système des nappes, par exemple à partir d'un cours d'eau, cette recharge peut cesser si les niveaux d'eau de surface diminuent au-dessous des niveaux des eaux souterraines locales. Dans les régions semi-arides et arides, la dépendance sur les eaux souterraines pour maintenir le débit de base des cours d'eau permanents est susceptible d'être plus grande durant les périodes de sécheresse prolongée.

Le sur-pompage de l'eau souterraine est un impact indirect du changement climatique et constitue un mécanisme de décharge des eaux souterraines aussi. Les hausses prévues de la variabilité des précipitations sont susceptibles d'entraîner des sécheresses plus intenses et des inondations, qui affectent la fiabilité de l'approvisionnement en eau de surface. La demande humaine pour les eaux souterraines est donc susceptible d'augmenter pour compenser cette baisse de la disponibilité des eaux de surface et, le cas échéant, l'eau souterraine va devenir un outil essentiel pour les communautés afin de s'adapter au changement climatique.

Réserve d'eau souterraine

La réserve de la nappe d'eau souterraine est le bilan entre les entrées et les sorties sur une période de temps donnée. Les aquifères fournissent de l'eau qui a été rechargée au fil des siècles et des millénaires. Le stockage est contrôlé par les propriétés intrinsèques de l'aquifère tels que le coefficient d'emmagasinement, la transmissibilité et la géométrie de l'aquifère. Les aquifères d'envergure régionale reçoivent la recharge à partir de vastes zones du bassin et donc ne réagissent pas à la variabilité climatique à court terme, alors que les aquifères libres peu profonds sont plus sensibles à la variabilité à petite échelle du climat. L'impact du changement climatique sur la réserve dépend de si oui ou non l'eau souterraine est une ressource renouvelable ou non renouvelable (fossile). Même s'il n'y a pas d'impact direct du changement climatique sur les eaux souterraines fossiles, l'impact serait d'encourager la surexploitation de l'eau fossile au cours de la période de stress. Le déficit de recharge, en raison du changement climatique, conduit à la réduction de la réserve renouvelable.



Qualité de l'eau

Dans de nombreuses zones, les aquifères sont une importante source d'approvisionnement en eau douce. Le maintien de la qualité de l'eau dans ces aquifères est essentielle pour les communautés. Dans les aquifères peu profonds, les températures de l'eau souterraine peuvent augmenter en raison de l'augmentation des températures de l'air. Dans les zones arides et semi-arides l'augmentation de l'évapotranspiration peut conduire à la salinisation des sols, ce qui aura une incidence sur la qualité de l'humidité du sol et le système des eaux souterraines associées. Dans les aquifères côtiers, l'élévation du niveau de la mer et les déferlements de tempête sont susceptibles de conduire à l'intrusion d'eau de mer et la salinisation des eaux souterraines en particulier dans les zones de surexploitation des ressources en eau souterraine.

Dans les régions où l'on prévoit que l'intensité des précipitations pourrait augmenter, les polluants (pesticides, matières organiques, métaux lourds, et les latrines à fosse) seront de plus en plus entraînés dans les masses d'eau, y compris les eaux souterraines. En outre, la recharge provenant des plans d'eau de surface polluée va encore compromettre la qualité des eaux souterraines.

11.6 Changement climatique et croissance de la population

La croissance de la population a une relation intime avec le changement climatique. L'accroissement de la population entraîne une augmentation de la demande en eau à la fois pour un usage domestique, et pour la production de nourriture et pour l'industrie. Les changements, associés, d'occupation des sols et les facteurs socio-économiques sont susceptibles d'influencer la capacité à gérer convenablement la ressource en eau souterraine.

En particulier en Afrique, l'eau souterraine a été mal gérée. Le faible investissement dans les investigations et la gestion des eaux souterraines a mis la ressource sous pression, soit par la pollution ou par les prélèvements. La hausse de l'utilisation des eaux souterraines, associée à la croissance de la population, est également un fait, en particulier dans les zones arides et semi-arides où l'eau est rare.

La population africaine va croître d'environ 154% entre 2000 et 2050 selon la variante moyenne des Nations Unies, et de 119% à 193% selon les variantes basse et haute, du FNUAP (2000, 2008 cité dans Carter et Parker, 2008). Il est bien établi que la demande en eau augmente au fil du temps comme une conséquence à la fois de la croissance démographique et l'évolution des modes d'utilisation de l'eau (Carter et Parker, 2008).

Le changement de l'occupation des sols affecte également les ressources en eau souterraine. Le degré et l'ampleur de l'impact dépendra des conditions locales. Dans un petit bassin sahélien au Niger, Seguis et al. (2004) ont constaté que la transition d'une période humide sous une couverture «naturelle» du sol (1950) à une période sèche avec des sols en culture (1992) a entraîné une augmentation de 30 à 70% du ruissellement. La recharge dans ce bassin a eu lieu préférentiellement à travers les étangs, et donc l'augmentation du ruissellement a provoqué une hausse significative et continue du niveau de la nappe sur la même période.



11.7 Implications pour les secteurs tributaires des eaux souterraines

En conséquence du changement climatique et la rareté de l'eau de surface, la dépendance sur les eaux souterraines en particulier en Afrique devrait être élevée. Le changement climatique et l'accroissement de la population peut compromettre la disponibilité et la qualité des ressources en eau souterraine avec des conséquences importantes pour la santé humaine et l'environnement, les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et la stabilité sociale et économique.

Les puits peu profonds fournissent souvent une source importante d'eau potable pour les populations rurales dispersées de l'Afrique. La hausse prévue de la demande et de la gravité des sécheresses peuvent provoquer le tarissement de beaucoup de ces puits peu profonds. L'assèchement de la nappe phréatique peu profonde a un impact négatif considérable sur les moyens de subsistance en milieu rural. Avec des alternatives limitées pour un approvisionnement en eau potable et de longues distances entre les points d'eau, la perte par épuisement de ces puits, pourrait forcer les populations à utiliser des ressources en eau de qualité douteuse (Fig. 11.4). L'irrigation de petits périmètres, utilisant généralement les eaux souterraines peu profondes, serait également touchée.

Lorsque l'augmentation des épisodes de fortes précipitations sont projetées, les inondations peuvent emporter des installations d'assainissement, répandant les eaux usées et potentiellement contaminant les ressources en eau souterraine. Les inondations sont liées à un risque accru de maladies diarrhéiques. Le risque est susceptible d'être plus élevé dans les zones urbaines en raison de la densité de la population plus élevée et la concentration des sources de polluants. Dans les régions côtières, l'intrusion d'eau de mer peut limiter la capacité des eaux souterraines à servir des populations au nombre déjà élevé, et en expansion rapide.



Figure 11.4: Défis du stress hydrique

11.8 Adaptation au changement climatique

Qu'est-ce que l'adaptation?

Afin de faire face au changement climatique, une approche intégrée est nécessaire. Une telle approche englobe à la fois l'atténuation, qui porte sur les facteurs de changement climatique et l'adaptation, qui estime les mesures nécessaires pour s'accommoder de tels changements.



L'adaptation consiste aux ajustements apportés aux systèmes naturels et humains en réponse à des changements de conditions climatiques vécus ou projetés, et de leurs impacts bénéfiques et néfastes (Fig. 11.5). Dans le contexte des eaux souterraines, ils concernent la réduction de la vulnérabilité des systèmes tributaires des eaux souterraines au changement climatique et à la variabilité hydrologique. Cependant l'adaptation au changement climatique est également susceptible d'accroître l'utilisation et la dépendance sur les eaux souterraines en réponse à la baisse des ressources en eau de surface.

Comment les organismes de bassin peuvent ils s'adapter au changement climatique?

Les adaptations sont essentiellement des réponses en direction des risques associés à la variabilité du climat et du changement climatique. En ce qui concerne les ressources en eau, ce sont les organismes de bassin qui auront à mettre en œuvre des stratégies et des politiques visant à atténuer les risques associés au stress hydrique et à adopter une gestion de l'eau adaptée aux conditions changeantes des ressources en eau.

Chaque bassin sera différent en raison de différences dans le stockage de l'eau dans le bassin, qu'elle soit de surface ou souterraine, et en raison des changements amenés par le changement climatique. En outre, la demande en eau dans chaque bassin diffère, en raison de divers problèmes socio-économiques. Les organismes de bassin peuvent être proactifs en matière de changement climatique en effectuant des évaluations des risques pour leurs propres bassins et la construction de leurs stratégies d'adaptation en conséquence. Cela peut être un exercice important pour les organismes de bassin à mener à bien avant que les crises ne fassent surface.

Importance des eaux souterraines dans un climat qui change

L'eau souterraine joue un rôle essentiel dans l'adaptation à la variabilité hydrologique et au changement climatique (Clifton et al. 2010). Les eaux souterraines fournissent des options pour améliorer la fiabilité de l'approvisionnement en eau à usage domestique, industriel, le bétail et l'irrigation. Il ya certaines adaptations qui peuvent être accessibles en utilisant les eaux souterraines :

- **Intégrer la gestion des ressources en eau de surface et souterraine** – comprenant l'utilisation conjointe à la fois de la nappe et les eaux de surface pour satisfaire la demande en eau. La gestion intégrée a pour but de faire en sorte que l'utilisation d'une ressource en eau n'ait pas d'effet défavorable sur l'autre. Il implique des prises de décisions fondées sur des impacts de l'ensemble du cycle hydrologique, et sur la répartition spatiale des ressources en eau de surface et souterraine et la distribution de la demande en eau.
- **Gestion de la recharge de l'aquifère (MAR)** – notamment la construction d'infrastructures et / ou la modification du paysage pour améliorer volontairement la recharge des nappes. La MAR est parmi les possibilités d'adaptation les plus prometteuses pour les pays en développement. Elle a plusieurs avantages potentiels, y compris le stockage de l'eau pour une utilisation future, la stabilisation ou récupération des niveaux d'eau souterraine des aquifères surexploités; ce qui réduit les pertes par évaporation, la gestion de l'intrusion saline ou l'affaissement des sols, et permettant la réutilisation des déchets ou des eaux pluviales.



■ Changement de l'occupation des sols – le changement d'occupation des sols

Tableau 11.2. Les options d'adaptation: renforcer la capacité d'adaptation

Adaptation option	Adaptations
Le capital social Ces options sont veulent permettre aux communautés de comprendre le climat et les risques hydrologiques et participent activement à la réponse de la gestion.	Éducation et formation - pour améliorer la compréhension par la communauté et les parties prenantes des risques climatiques et leur capacité à participer à des réponses de gestion et / ou de générer, de modifier ou d'appliquer des adaptations. Gouvernance - déléguer un certain niveau de responsabilité de la planification et de la gestion des eaux souterraines aux communautés locales pour accroître "l'appropriation" locale des problèmes et des réponses Partage de l'information - initier des processus de partage d'informations sur les risques climatiques et les réponses au sein et entre les communautés vulnérables.
Informations sur la ressource Rassembler et fournir des informations sur les risques climatiques et le système des eaux souterraines qui sont gérées.	Comprendre le climat - l'analyse des données historiques et paléo-climatiques pour comprendre les facteurs naturels de la variabilité du climat. Projections du changement climatique - développer à échelle régionale ou locale des projections du changement climatique pour la zone concernée. Quantifier le système des eaux souterraines - comprendre l'ampleur et les caractéristiques de l'aquifère (s); les processus de recharge, de transfert et de décharge; le bilan d'eau (y compris l'usage); qualité de l'eau, etc. Suivi, évaluation et reportage - de l'état de la ressource en eau souterraine.
Recherche et développement Des activités de recherche et développement pour améliorer l'efficacité des mesures d'adaptation au changement climatique et à la variabilité hydrologique.	Évaluations de l'impact climatique - des études pour mieux définir la nature des impacts du changement climatique prévu sur le système des eaux souterraines et le climat associé et risques hydrologiques. Gestion de la recharge des nappes - méthodes. La gestion de la réserve d'eau souterraine - technologies, gestion de l'eau et d'autres pratiques pour maximiser la capacité de stockage des eaux souterraines et la disponibilité des ressources. Protection de la qualité de l'eau - des technologies et des systèmes de gestion pour permettre le traitement et la réutilisation des eaux contaminées et éviter la contamination de l'eau de qualité supérieure par l'eau de moindre qualité. La protection des aquifères côtiers et insulaires des effets de l'élévation du niveau de la mer. Gérer la demande pour les eaux souterraines - des technologies et des pratiques de gestion qui améliorent l'efficacité des usages urbains et agricoles de l'eau, réduisent les exigences de qualité de l'eau pour les usages non potables; ou réduisent le besoin en eau.
Gouvernance et institutions Amélioration de la gouvernance et des dispositions institutionnelles pour la gestion des ressources en eau souterraine. Des régimes de planification améliorés pour les eaux souterraines et les systèmes humains et naturels associés.	Gestion conjointe de l'eau de surface et de l'eau souterraine dans les zones rurales. La gestion du cycle intégré de l'eau (y compris les diverses sources potable et non potable dans les zones urbaines). Une planification multi-juridictionnelle et des modalités de gestion des ressources pour les systèmes aquifères de grande envergure qui traversent les frontières juridictionnelles. Définir les allocations d'eau sur la base des ressources partagées plutôt que du volume. Définir et réglementer les normes relatives (par exemple) aux ressources en eau souterraine et à la planification de l'occupation des sols, la gouvernance de l'eau, la gestion de l'environnement. Un plan de réponse à la sécheresse.
Les marchés Création et fonctionnement des marchés de l'eau et des services environnementaux associés.	Marchés - création et fonctionnement des marchés pour le commerce de l'eau dans un système d'eau souterraine. Le marché pour déterminer le prix de l'eau. Les droits de propriété - établir des droits de titre et de propriété clairs sur les eaux souterraines.

peut fournir une occasion d'améliorer la recharge, pour protéger la qualité des nappes et de réduire les pertes d'eau souterraine par évapotranspiration. Les changements



dans l'occupation des sols ne doivent pas entraîner des effets néfastes à d'autres parties de l'environnement. Les cultures de faible demande d'eau et les cultures tolérantes au sel sont potentiellement des changements utiles d'occupation des sols, pour s'adapter aux différentes situations de stress hydrique.

Renforcer les capacités d'adaptation pour la gestion des eaux souterraines

Renforcer les capacités d'adaptation est un thème crucial et transversal, il s'applique, au moins partiellement, à de multiples thèmes. Des options adaptatives de renforcement des capacités sont généralement concernées, en fournissant les conditions nécessaires pour que d'autres formes d'adaptation soient mises en œuvre avec succès, plutôt que de gérer ou d'éviter les risques climatiques ou hydrologiques directement. Certaines options d'adaptation d'après Clifton et al. (2010) sont présentées dans le tableau 11.2.

Gestion de la recharge des eaux souterraines

Les zones de recharge des eaux souterraines peuvent être gérées pour protéger ou améliorer les ressources en eau et pour maintenir ou améliorer la qualité de l'eau. Une bonne méthode serait de gérer la recharge de l'aquifère. La gestion de la recharge des aquifères (MAR) implique la construction d'infrastructures et / ou la modification du paysage pour améliorer volontairement la recharge des nappes (Fig. 11.6). Elle constitue l'une des voies de «gérer la recharge des aquifères» par des mesures d'adaptation, et est de plus en plus considérée comme une option pour améliorer la sécurité de l'approvisionnement en eau dans les zones où elles sont rares (Gale, 2005). La MAR est parmi les possibilités d'adaptation les plus importantes pour les pays qui cherchent à réduire la vulnérabilité au changement climatique et à la variabilité hydrologique. Elle a plusieurs avantages potentiels, notamment : le stockage de l'eau pour une utilisation future; la stabilisation ou la récupération des niveaux d'eau souterraine dans les aquifères surexploités; réduire les pertes par évaporation; la gestion de l'intrusion saline ou les affaissements de terrain; et permettant la réutilisation des déchets ou des eaux pluviales. La mise en œuvre de la MAR nécessite des opportunités adéquates de stockage de l'eau souterraine. Les conditions aquifères doivent être appropriées et les sources d'eau adéquates (par exemple excès de flux d'eau de surface de la saison humide ou eaux usées traitées) sont également nécessaires. Le potentiel de la MAR doit être déterminé dans un pays ou une région donnée avant le début des activités.

Protection de la qualité des eaux souterraines

Le changement climatique et la variabilité hydrologique peuvent affecter la qualité des eaux souterraines disponibles pour l'usage d'un système tributaire des eaux souterraines. Cela est particulièrement vrai pour les eaux souterraines dans les petites îles et les zones côtières qui, selon les projections, pourraient être soumises à l'élévation du niveau de la mer. Il est également vrai lorsque la sécurité réduite de l'offre conduit les gestionnaires des ressources en eau à inclure une eau de qualité inférieure dans le flux d'alimentation (par exemple à travers la MAR en utilisant l'eau de pluie ou des eaux usées traitées); c'est vrai aussi lorsque la pression accrue sur les ressources en eau souterraine, conduit à un usage élevé et un plus grand risque de contamination d'un aquifère de bonne qualité par des aquifères sous-jacents de qualité moindre.

Gestion des réserves d'eau souterraine

Alors que les aquifères sont reconnus comme des réservoirs d'eau souterraine, ils sont rarement utilisés avec le même niveau de précision et de contrôle que les grands réservoirs d'eau de surface. Il existe des possibilités de gérer les stockages d'eau souterraine plus efficacement et de réduire la vulnérabilité au changement climatique et à la variabilité hydrologique, des systèmes qui dépendent des eaux souterraines.

Gestion de la demande en eau souterraine

Les adaptations au changement climatique pour les ressources en eau fonctionnent le plus souvent avec la gestion de la demande. Dans de nombreux cas, les adaptations pour les systèmes tributaires de l'eau souterraine et de l'eau de surface seront identiques. Dans les zones où le changement climatique réduit la sécurité de l'approvisionnement en ressources en eau de surface, il est probable qu'il y ait une hausse significative de l'utilisation des ressources en eau souterraine, comme adaptation au changement climatique. Cela nécessitera une plus grande attention à la gestion de la demande en eau souterraine et à la gestion conjointe avec les eaux de surface. Il peut également être possible d'utiliser les réservoirs souterrains comme espace de stockage pour les écoulements d'eau de surface excédentaires pendant les périodes d'abondance, afin d'en faire usage ensuite pendant les périodes de pénurie d'eau de surface.

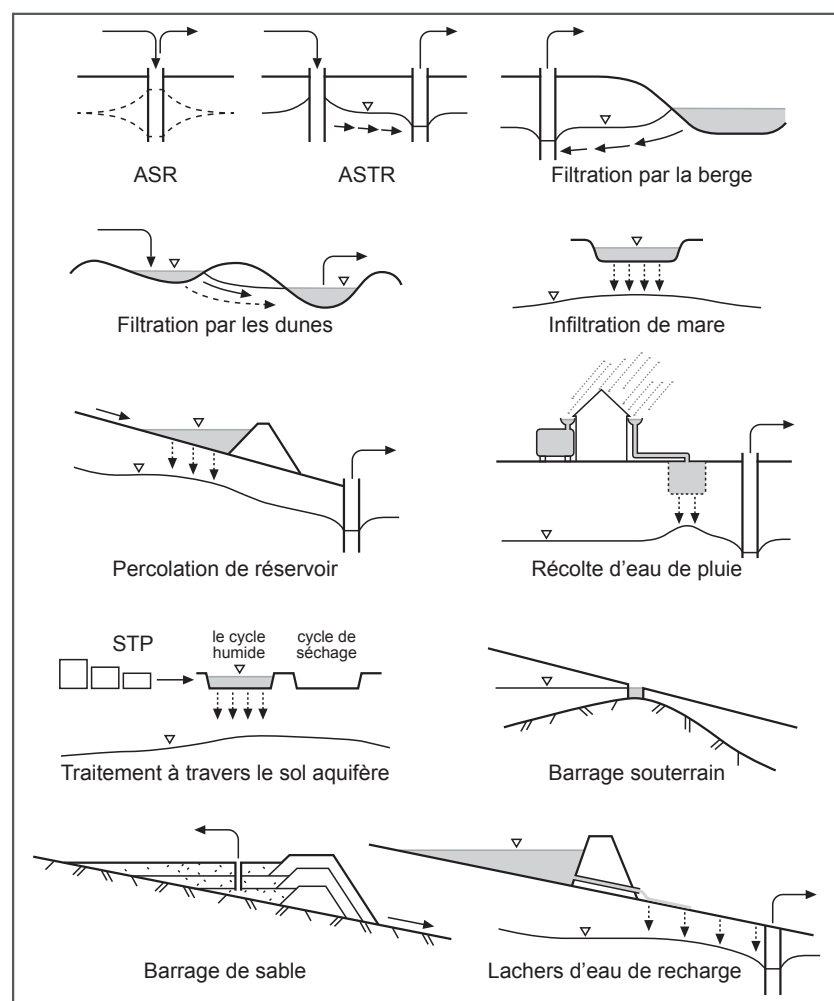


Figure 11.6: Exemples d'approches de gestion de la recharge de l'aquifère (MAR).

ASR: stockage et remontée de l'eau de l'aquifère; ASTR: stockage, traitement et remontée de l'aquifère, STP: usine de traitement des eaux usées. Source: Peter Dillon, in Clifton et al., 2010



Gestion de la décharge des eaux souterraines

Les systèmes aquifères déchargent l'eau à la surface du sol, aux rivières, lacs, zones humides, ou à proximité des environnements marins au large des côtes. La décharge, la recharge et prélèvement sont dans un état d'équilibre dynamique, tel que les changements dans la recharge ou le prélèvement finalement débouchent sur un changement dans la décharge. Dans certains contextes, il est possible d'augmenter la disponibilité des ressources (à l'usage des systèmes humains) en réduisant la décharge des eaux souterraines.

11.9 Résumé

Le changement climatique provoque une pression sur des ressources en eau déjà sollicitées, sur des écosystèmes et des systèmes dérivés, qui sont utilisés pour servir la société. Les eaux souterraines doivent être protégées, et son utilisation et sa conservation adaptées au changement climatique. Les eaux souterraines peuvent améliorer la résilience des usages domestiques, agricoles et industriels de l'eau douce, par rapport à la variabilité et au changement climatique. Comme seule source pérenne d'eau douce dans de nombreuses régions, l'eau souterraine est d'une importance vitale pour la sécurité de l'eau de nombreuses communautés, à l'instar habitants de zones rurales dans les pays à faible revenu. L'irrigation par les eaux souterraines fournit un tampon contre les conditions climatiques extrêmes, et est par conséquent essentielle à la sécurité alimentaire mondiale (Taylor et al., 2013).



11.10 Références et lectures en ligne

BGR, (2008).

Groundwater and Climate Change: Challenges and Possibilities.

Hanover, Germany

Calow, R., MacDonald A (2009).

What will climate change mean for groundwater supply in Africa?

Odi, background Note.

Carter R., Parker A (2008).

Climate change, population trends and groundwater in Africa.

Hydrological Sciences Journal, 676-689

Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W. T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr A., and Whetton, P. (2007).

Regional Climate Projections' in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds),

Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Clifton C., Evans, R, Hayes, S., Hirji, R., Puz G., Pizarro C. (2010)

Water and Climate Change: Impacts on groundwater resources and adaptation options.

Water working notes. Note No. 25. Water partnership program, bnwpp.

Conway D (2005).

From headwater tributaries to international river: Observing and adapting to climate variability and change in the Nile basin.

Global Environmental Change 15: 99–114

Döll, P and Floerke, M. (2005).

Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge: model tuning to local data for semi-arid and arid regions and assessment of climate change impact.

Frankfurt Hydrology Paper. August 2005.

Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M., Lister, D. (2001).

African climate change: 1900–2100.

Climate Research 17, 145–168.

IPCC, (2001).

Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to The Third Assessment Report of the IPCC.

Cambridge University Press, Cambridge, UK.



JMP (2008) Global water supply and sanitation 2008 report.

Joint Monitoring Programme WHO/UNICEF.

Geneva: World Health Organization.

Gale, I. (ed). (2005).

Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas.

UNESCO publication. 34 pp. Available online: <http://www.iah.org/recharge/>

MacDonald, A., Bonsor, HC., Dochartaigh, BEO., Taylor R (2012).

Quantitative maps of groundwater resources in Africa.

Environ. Res. Lett. 7 (2012) 024009 (7pp)

SKM (2009).

Adaptation options for climate change impacts on groundwater resources.

Taylor et al. (2013)

Ground water and climate change.

Review article. Nature Climate change. 3: 322-329

www.bebuffered.com