

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.

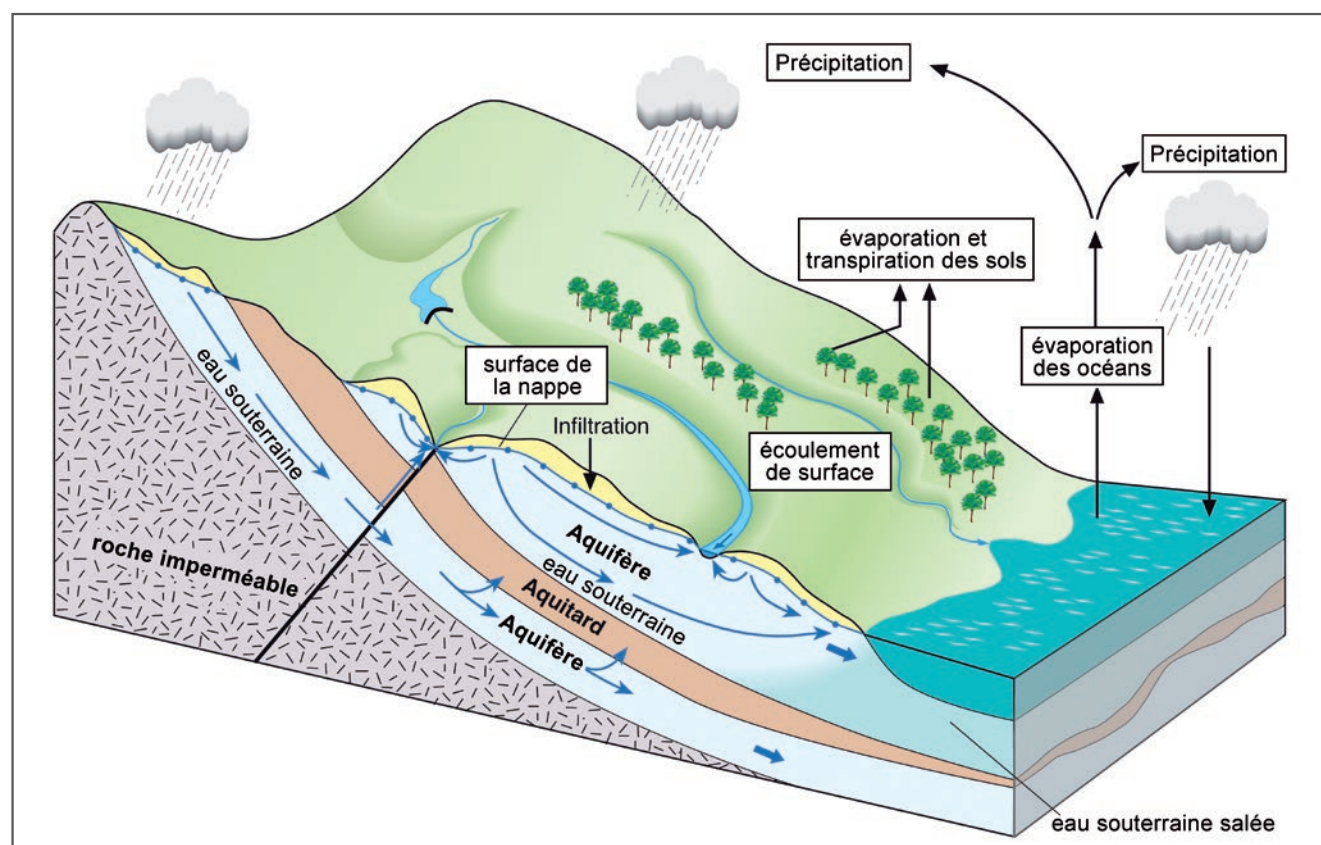


Figure 2.1 Cycle hydrologique : liens entre eaux surface et souterraines.



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)

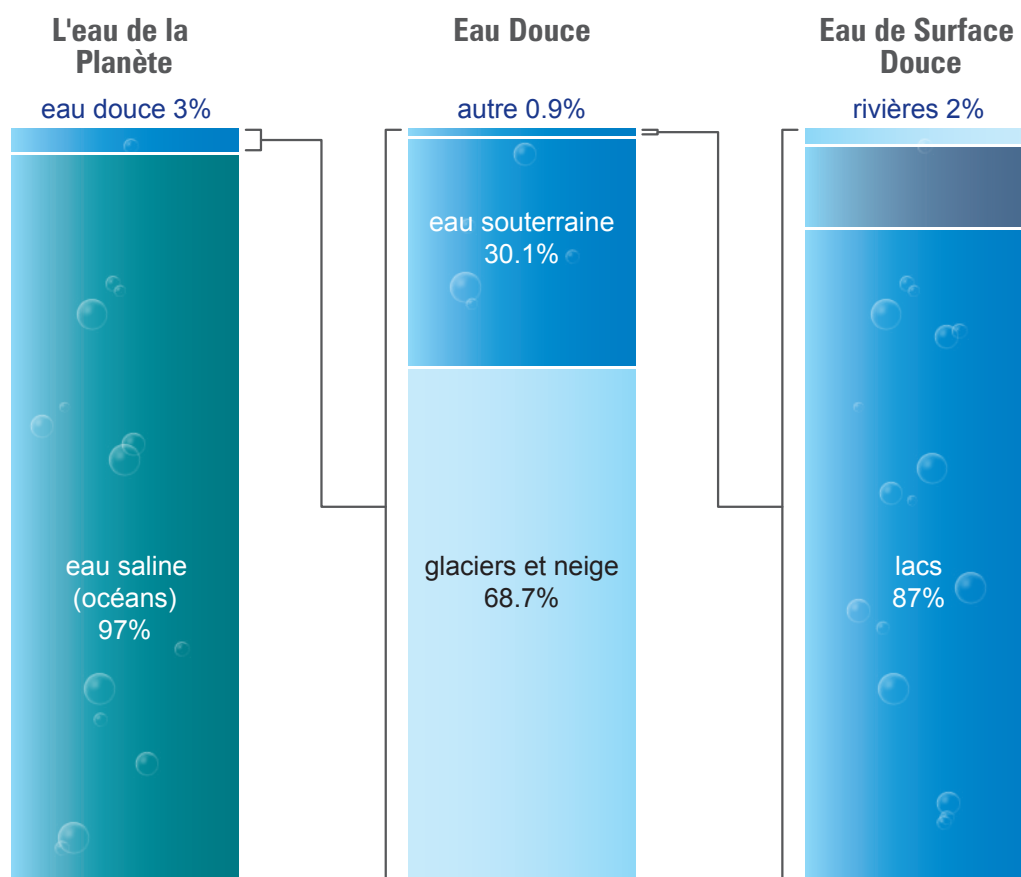
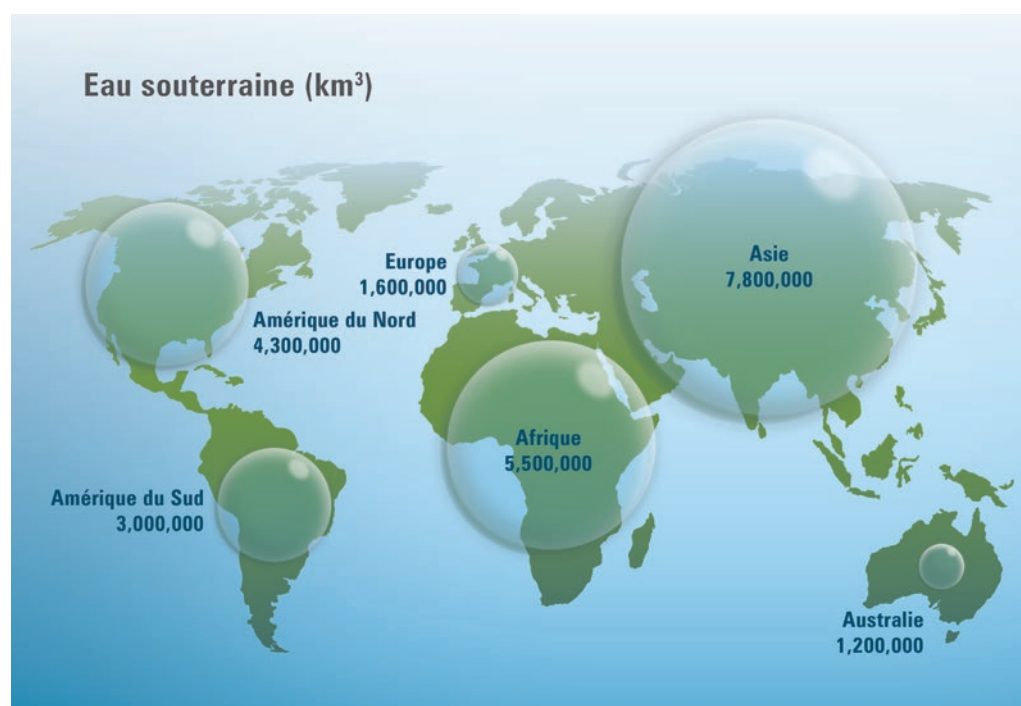


Figure 2.2 Répartition des ressources en eau douce de la terre


 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.

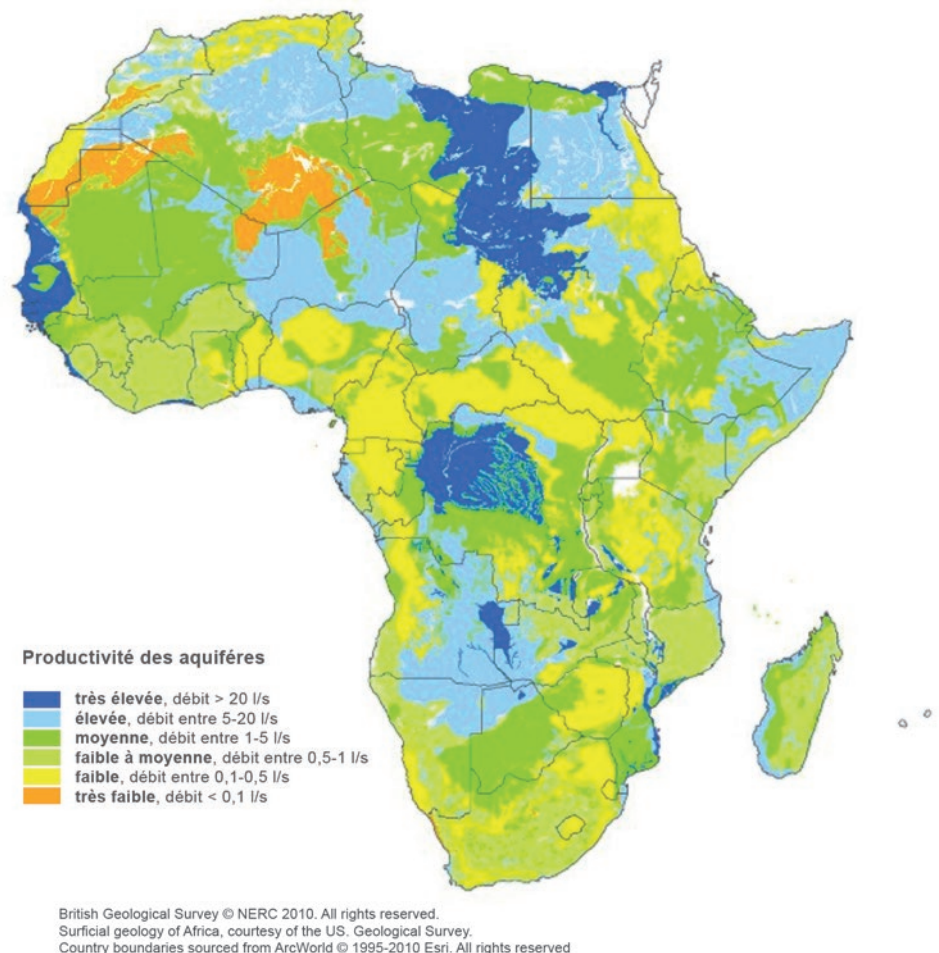


Figure 2.4 Carte productivité des aquifères de l'Afrique. Source: British Geological Survey, 2011.
<http://www.bgs.ac.uk/research/groundwater/international/africangroundwater/mapsDownload.html>


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.

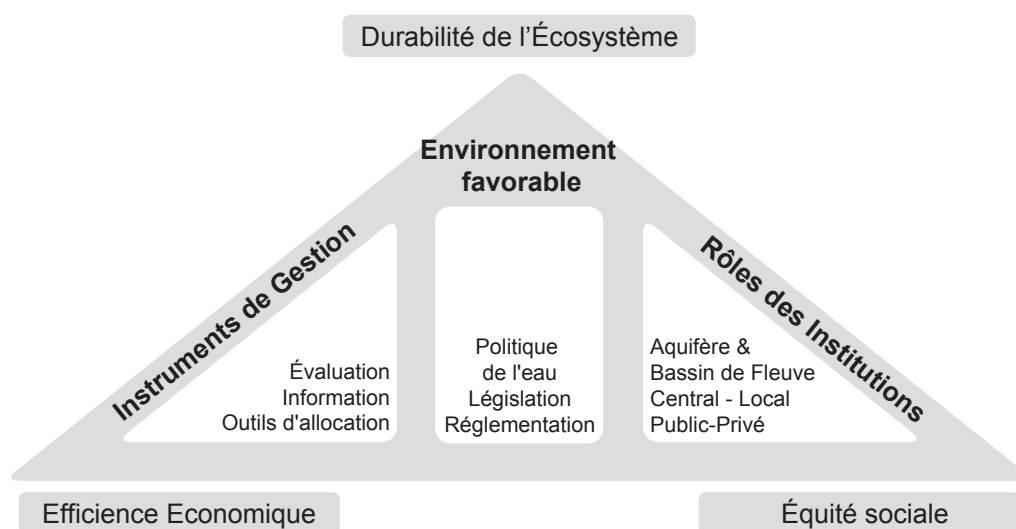


Figure 2.5 Le triangle de mise en œuvre de la GIRE

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.

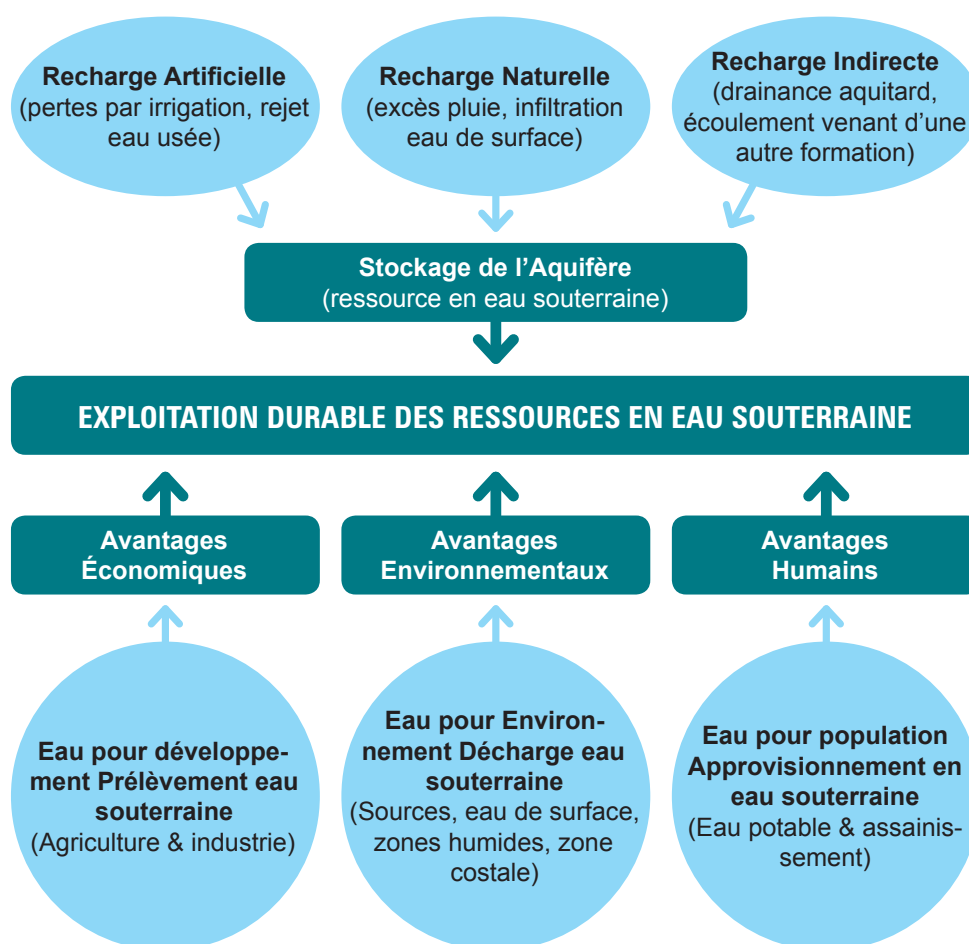


Figure 2.6 Les éléments de la gestion durable les eaux souterraines:
 L'offre (en haut) et demande (en bas)

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.

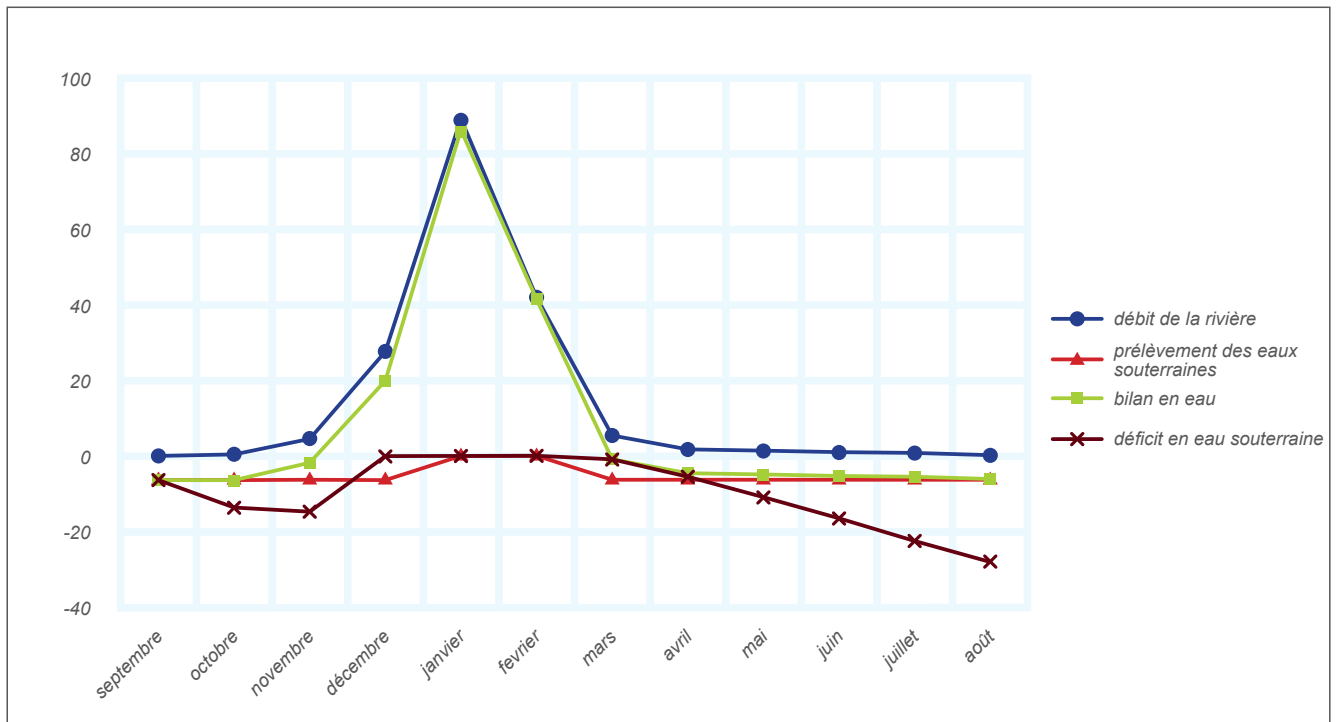


Figure 3: Les courbes du Limpopo montrant les composants du bilan hydrique. L'axe vertical est en m^3/s . La courbe de débit d'écoulement de la rivière est antérieure aux prélèvements de la nappe

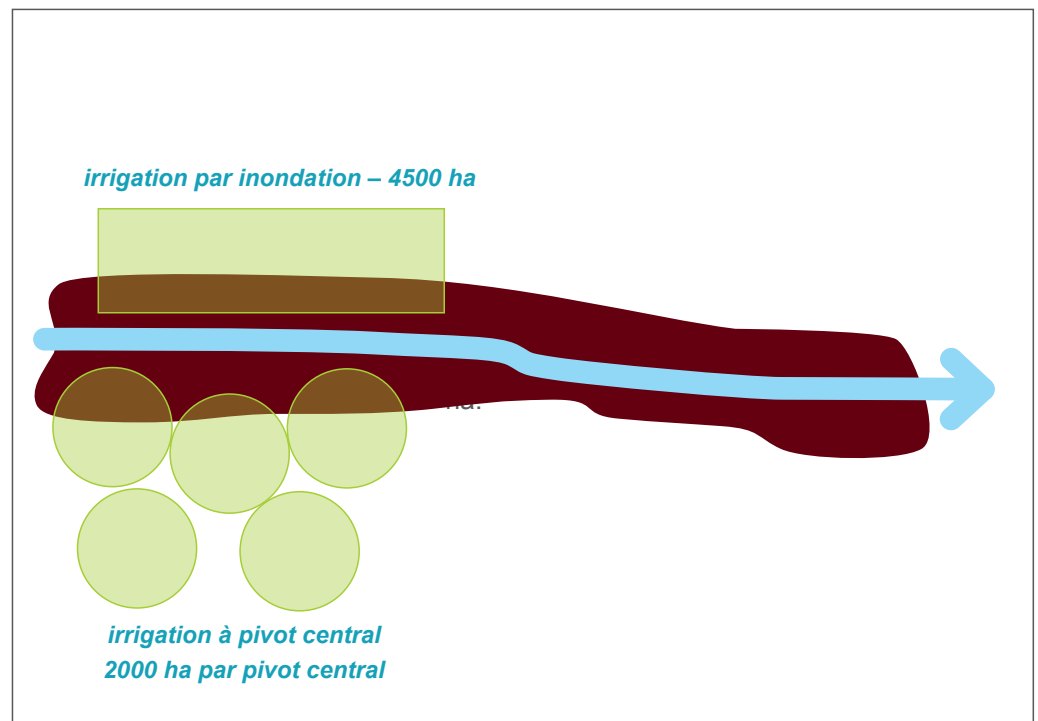


Figure 4: Illustration schématique de l'irrigation sur l'aquifère alluvial du Limpopo.