

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.

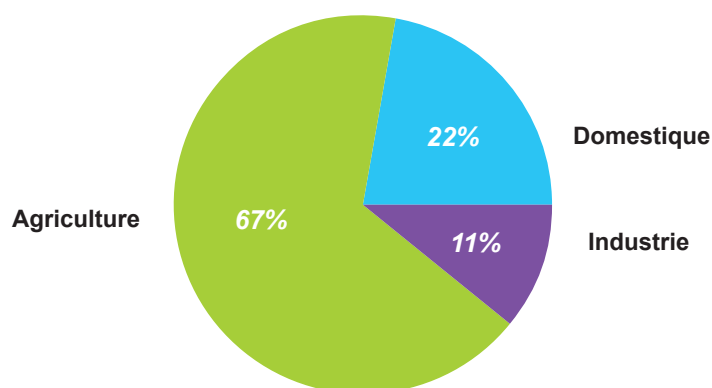


Figure 9.1. Part globale de l'utilisation des eaux souterraines pour les trois principaux secteurs (van der Gun, 2012)

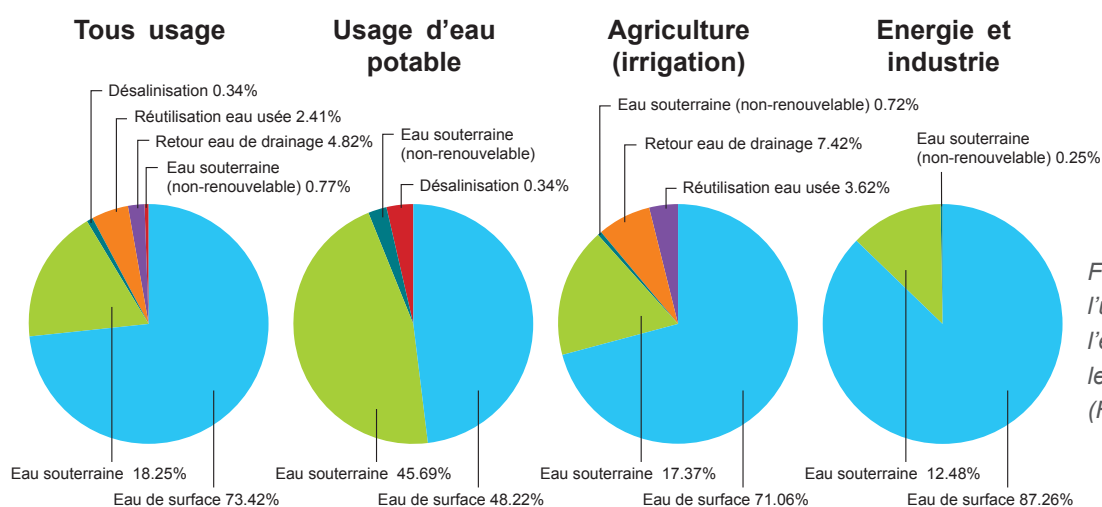


Figure 9.2. Sources de l'utilisation de l'eau à l'échelle mondiale et pour les principaux secteurs (FAO-AQUASTAT, 2000)

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.

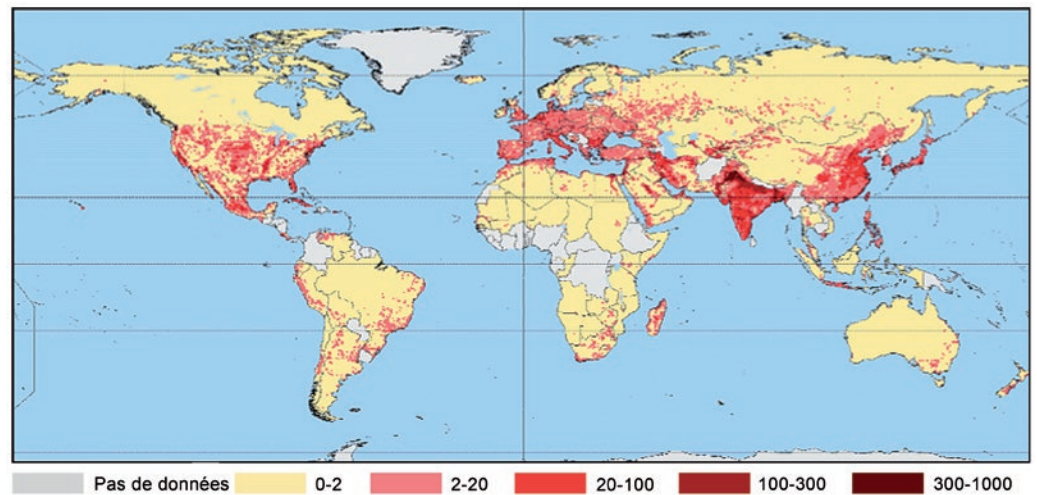


Figure 9.3. Carte globale de l'utilisation des eaux souterraines
(Wada et al., 2010. Unité en mm / an de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ cellules de la grille)

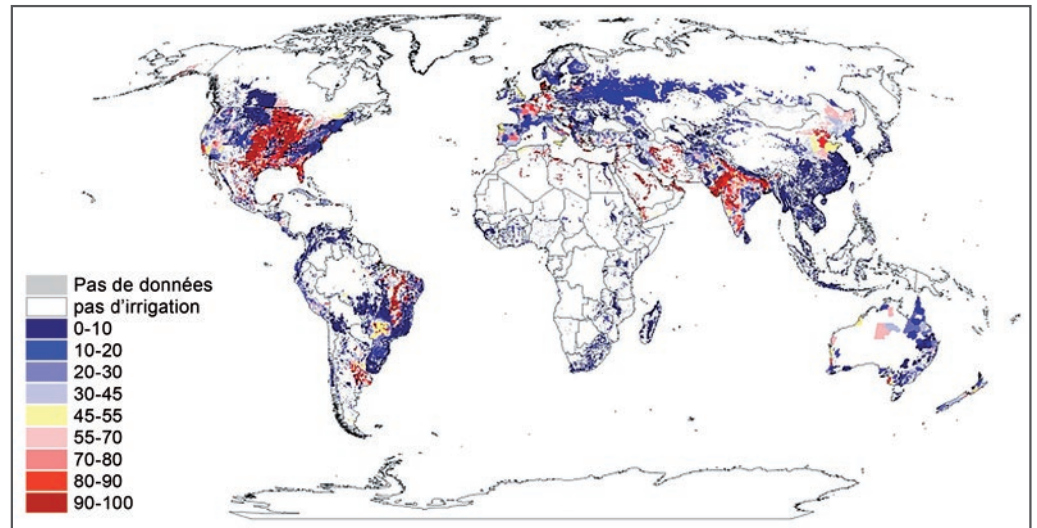


Figure 9.4. Carte mondiale des zones irriguées par des eaux souterraines
(Siebert et al. 2010. Pourcentage de la superficie irriguée alimentée par les eaux souterraines)

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.

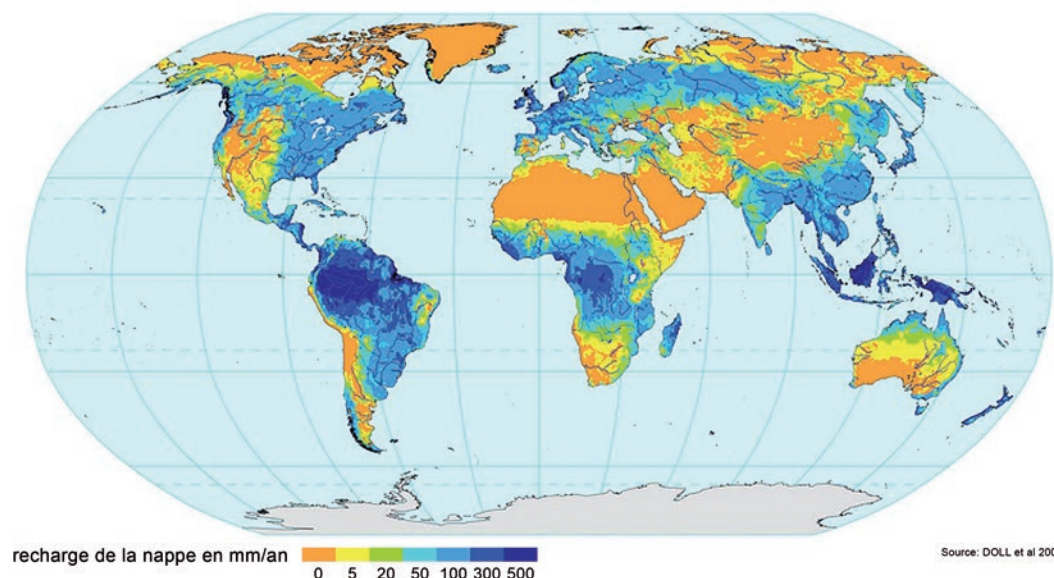


Figure 9.5. Recharge moyenne annuelle de la nappe d'eau souterraine, 1961 - 1990
(Döll and Fiedler, 2008)

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).

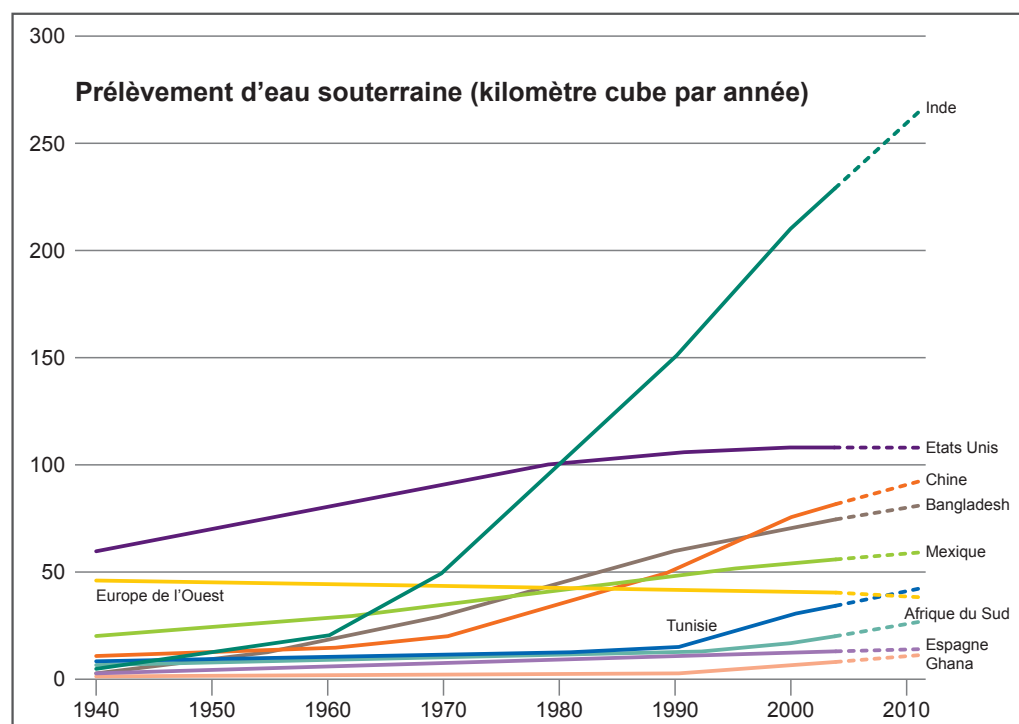


Figure 9.6. Prélèvement d'eau souterraine pour des pays sélectionnés
(Shah, Burke, and Villholth, 2007)

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.

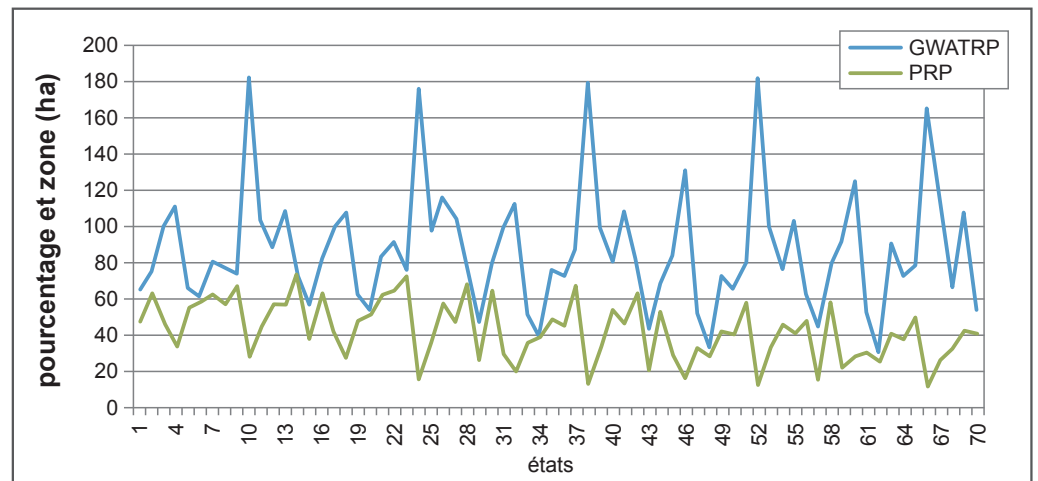


Figure 9.7. Relation entre la superficie irriguée, avec utilisation des eaux souterraines, par millier de population rurale (GWATRP) et le pourcentage de la pauvreté rurale dans les Etats indiens (PRP) (Narayanamoorthy, 2007)

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 dév. 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

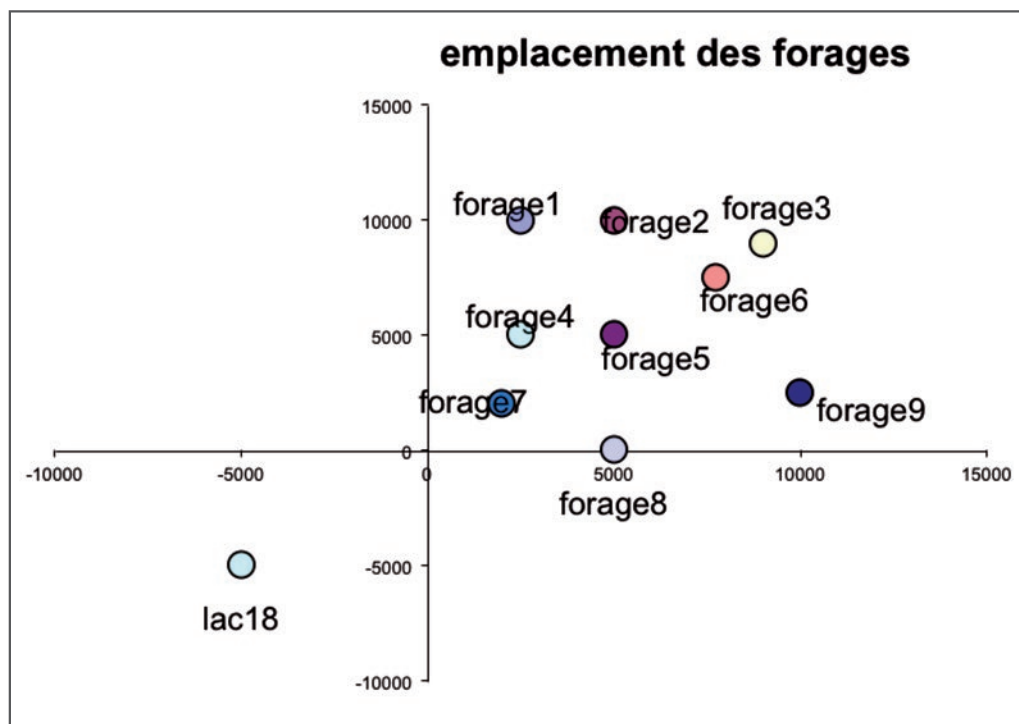


Figure 1. L'emplacement des forages et le lac

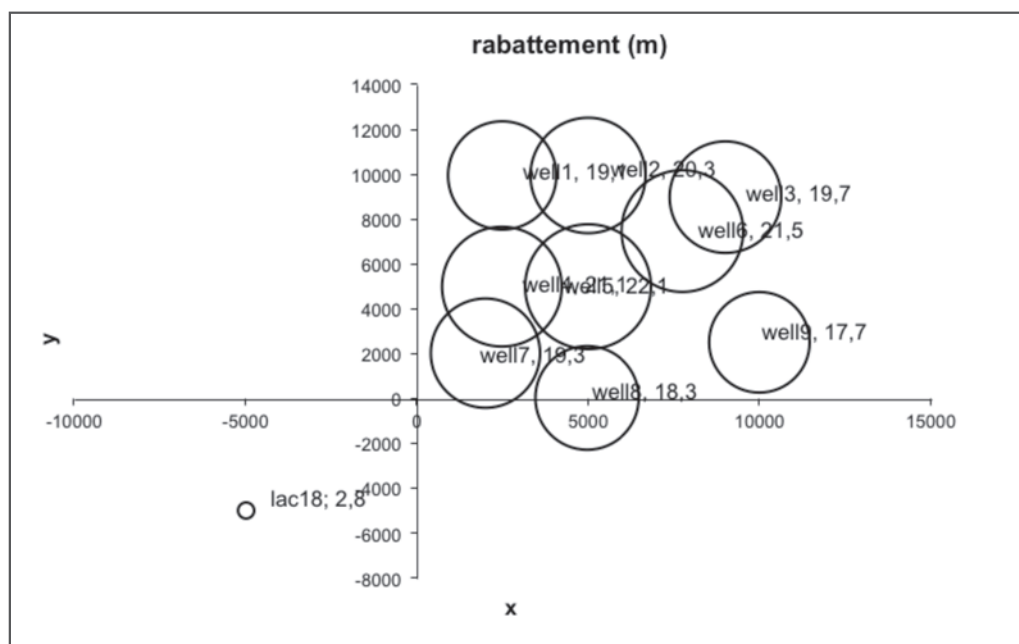


Figure 2. Illustration de l'interférence entre les forages pompés



Implemented by



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Led
by:

