



**HAL**  
open science

## Ressources en eau : une gestion nécessairement locale dans une approche globale

Nathalie Dörfliger, Jérôme Perrin

► **To cite this version:**

Nathalie Dörfliger, Jérôme Perrin. Ressources en eau : une gestion nécessairement locale dans une approche globale. Géosciences, 2011, 13, pp.94-101. hal-00662456

**HAL Id: hal-00662456**

**<https://brgm.hal.science/hal-00662456>**

Submitted on 24 Jan 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Ressources en eau : une gestion nécessairement locale dans une approche globale

L'eau sur la Terre est une matière première exceptionnelle. Mobile, indestructible et renouvelable, elle se prête à de multiples utilisations, parfois antagonistes. Les ressources en eau douce sont réparties de manière très contrastée autour du globe. L'eau est un milieu de vie, mais peut aussi constituer une menace : inondations, contaminations. Comment concilier les différents usages et services de cette matière première unique dans un contexte de changement global ? Qu'est-ce qu'une bonne gestion, à quelle échelle spatiale et par le biais de quelles institutions ?


**Nathalie Dörfliger**

HYDROGÉOLOGUE  
BRGM, CHEF SERVICE EAU  
n.dorfliger@brgm.fr

**Jérôme Perrin**

HYDROGÉOLOGUE  
BRGM, SERVICE EAU  
je.perrin@brgm.fr

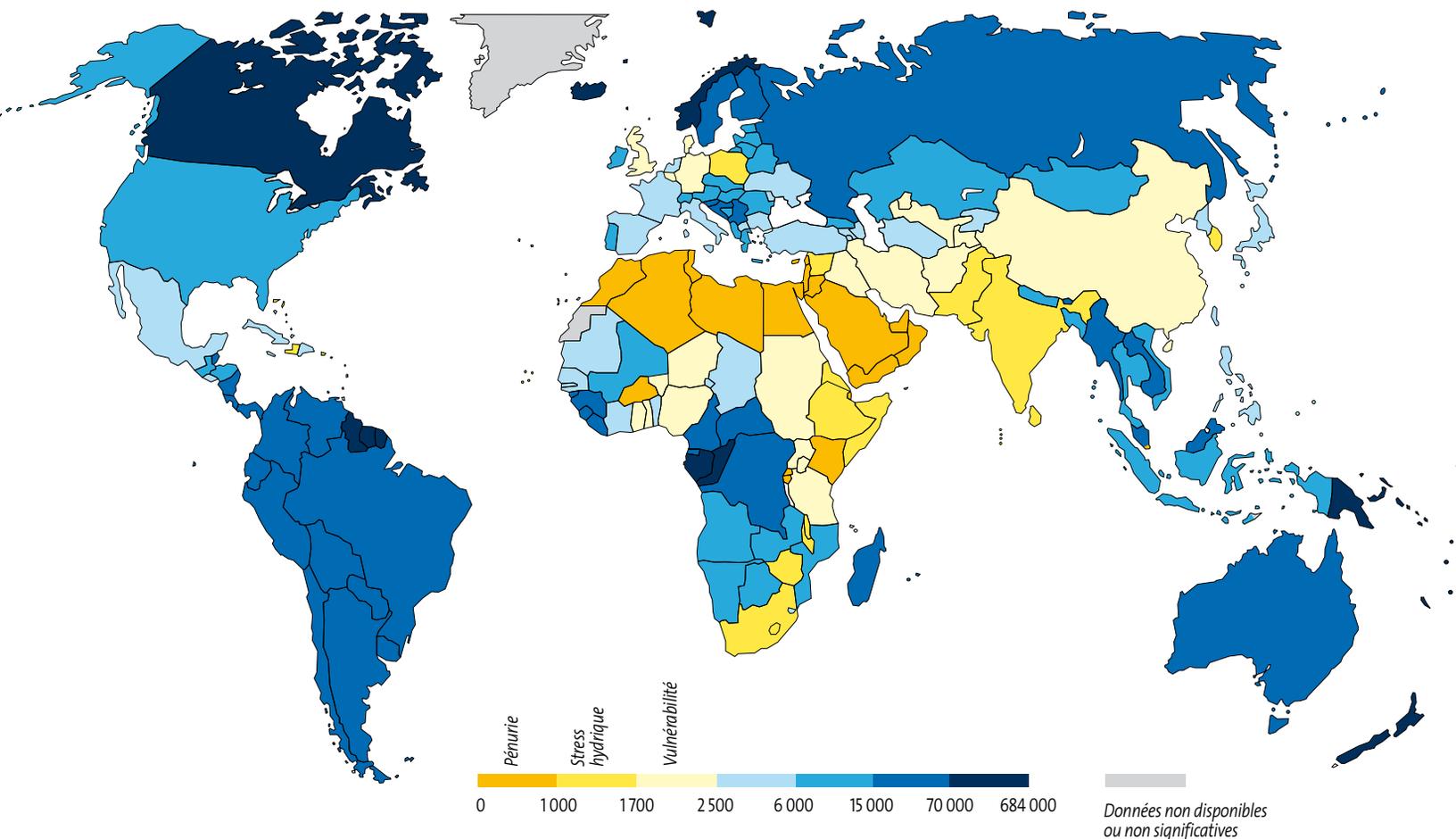
▲  
**Les utilisations de l'eau divergent mais  
ne sont pas nécessairement conflictuelles...  
un puits d'irrigation récréatif dans le sud de l'Inde.**

*The uses of water are varied but not necessary  
mutually exclusive... a dug well used for irrigation  
and for recreational purposes in southern India.*

© J. Perrin.

L'eau recouvre près des trois quarts de la surface du globe (voir article Duprat J., ce volume) dont seulement 2,8 % d'eau douce, répartis en eau de surface et eau souterraine. L'eau voyage entre ciel et terre par divers processus physiques : évaporation, condensation, précipitations, ruissellement, infiltration... L'eau de surface est issue du ruissellement des eaux pluviales, mais aussi d'une alimentation par les eaux souterraines, notamment en période d'étiage, qui joue un rôle déterminant dans les flux d'eau de surface et la préservation des zones humides. Ainsi, 90 % des écoulements souterrains du monde aboutissent aux cours d'eau de surface : seuls 10 % s'écouleraient directement dans les mers ou seraient soustraites par évaporation au niveau de bassins fermés [Margat (2008)].

L'eau a permis le développement de la vie sur Terre. Elle joue un rôle dans la préservation de la biodiversité, ainsi que dans le développement économique des sociétés humaines (De Marsily G., ce volume). Si les ressources en eau sur la planète sont importantes, leur répartition est très contrastée, car fortement conditionnée par la diversité climatique et la nature géologique des aquifères et des sols. Cette disparité peut s'exprimer en termes de disponibilité en eau douce per capita (figure 1). Elle montre que plusieurs régions du monde sont actuellement en stress hydrique (inférieur à 1 700 m<sup>3</sup> par an par personne) voire en pénurie (inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>), ce qui correspond à environ 40 % de la population



mondiale. Les projections montrent qu'à l'horizon 2025 cette proportion passera à 63 % à cause de l'accroissement de la population et de la croissance concomitante des besoins en eau. Parmi tous les secteurs économiques, l'agriculture est de loin le plus consommateur (70 % des ressources mondiales) ; il faut 1 000 fois plus d'eau pour nourrir l'humanité que pour la désaltérer...

Contrairement à certaines idées reçues, la « rareté » de l'eau n'entrave pas directement le développement économique d'une région [Margat & Andréassian (2008)]. Les sociétés ont toujours su s'adapter à cette

*Il faut 1 000 fois plus d'eau pour nourrir l'humanité que pour la désaltérer.*

contrainte, et les premières grandes civilisations se sont développées dans des régions pauvres en eau (Euphrate, Nil, fleuve Jaune) !

### La gestion de l'eau : historique et réglementations

L'aménagement des eaux par des équipements hydrauliques (barrages, digues, aqueducs, drainage, etc.) est pratiqué depuis des millénaires à des fins d'alimentation en eau potable, d'irrigation et de maîtrise des risques dus à l'eau. Les aqueducs romains, les réservoirs villageois dans les campagnes indiennes ou les qanâts dans les régions semi-arides du Moyen-Orient en sont autant d'exemples (photo 1). Ces aménagements n'entrent pas dans le cadre de la gestion de l'eau, qui est un concept relativement récent né au cours du XX<sup>e</sup> siècle de l'expérience et de la perception des sociétés de situations de déficit, d'excès ou de détérioration dans certaines régions et à certaines périodes.

**Fig. 1 : Disponibilité en eau douce par pays (en m<sup>3</sup> par personne sur un an) : les populations des régions en jaune sont en stress hydrique et celles des régions en orange en situation de pénurie.**

*Fig. 1: Availability of fresh water per country (m<sup>3</sup> per person over one year): in yellow, countries in hydric stress and in orange, those in shortage.*

Source : World Resources Institute, FAO, 2007.



Gérer l'eau signifie d'accorder les diverses actions sur l'eau à des objectifs spécifiques et s'inscrit dans quatre dimensions : territoriale (unité de gestion), stratégique (objectif), institutionnelle (autorité) et opérationnelle (instruments réglementaires, financiers, culturels, etc.). La nécessité d'une gestion de l'eau peut avoir des raisons diverses : déficit ou excès d'eau, détérioration de la qualité, conflits entre différentes utilisations parfois rivales. Les problématiques de gestion de l'eau ont une forte connotation régionale, voire locale, en fonction des zones climatiques, de la variabilité spatiale des contaminations (figure 2), des risques (sécheresse, inondations, pollutions), des pressions dues aux activités humaines, etc.

Les outils de gestion de l'eau vont ainsi diverger selon les objectifs à atteindre : par exemple, optimisation de la demande et de l'approvisionnement dans le cas de stress hydrique, établissement de cartes de vulnérabilité et mise en place de zones de protection des captages pour ce qui concerne les problèmes de qualité, arbitrages politiques par des instances nationales ou internationales dans le cas de conflits... Une gestion intégrée de la ressource en eau (GIRE) est de plus en plus privilégiée, tenant compte à la fois des eaux de surface et souterraines, des objectifs d'approvision-

nement et de qualité. Pour gagner en efficacité, les coûts d'approvisionnement, de gestion, de préservation ou d'amélioration de la qualité sont pris en compte et pondérés.

Au cours des deux dernières décennies, des instruments législatifs ont été mis en place pour soutenir les efforts de gestion de la ressource en eau. Sur le plan national, la loi sur l'eau de 1992 consacre l'eau en tant que « patrimoine commun de la Nation », et la loi de 1964 a posé les bases d'une gestion de l'eau décentralisée. Les agences de l'eau ont pour mission d'initier, à l'échelle de leur bassin versant, une utilisation rationnelle des ressources en eau, la lutte contre leur pollution et la protection des milieux aquatiques. Elles sont chargées notamment de la coordination de schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). Depuis 2008, l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) s'appuie sur l'analyse

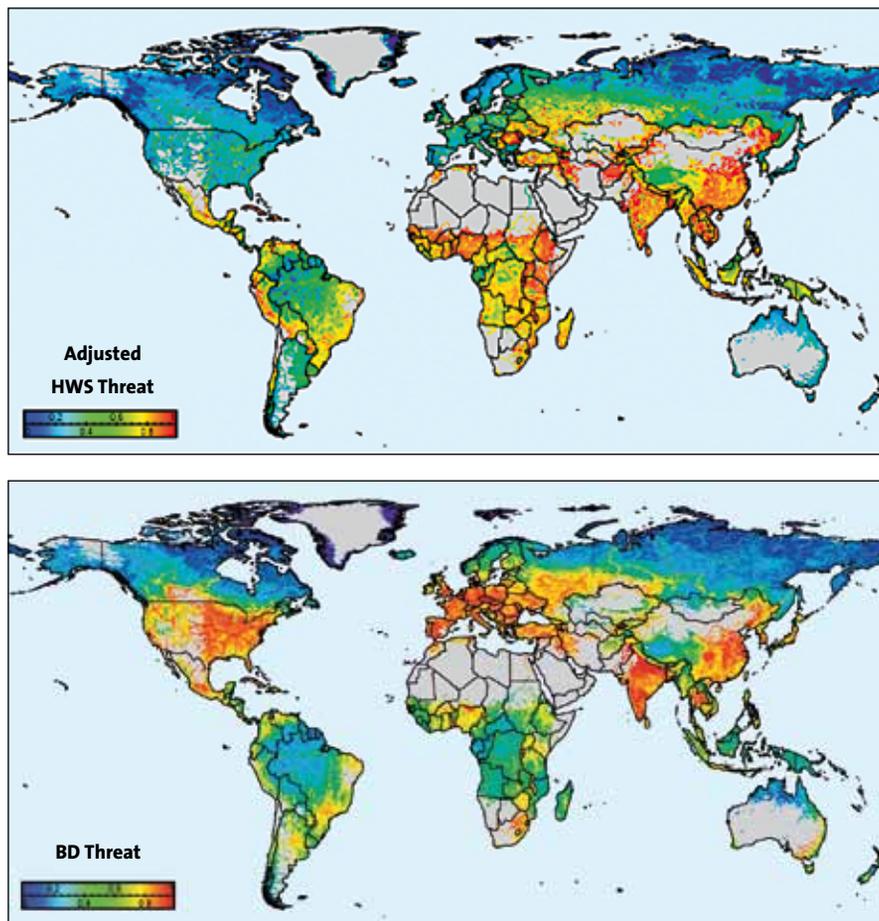
“  
*Quatre dimensions de gestion : territoriale, stratégique, institutionnelle, opérationnelle.*  
 ”

▲  
**Photo 1 : Exemples d'aménagement des eaux**  
**a) Bassin d'irrigation en Inde.**  
 © J. Perrin  
**b) Aqueduc Pont du Gard.**  
 © PicasaWeb, Marie-T. Favre.  
**c) Peignes de répartition – Sebkha de Timimoun, Sahara, Algérie.**  
 © PicasaWeb.  
*Photo 1: Examples of water management structures*  
*a) Irrigation pond in India.*  
*b) Pont du Gard aqueduc.*  
*c) Water repartition comb, Timimoun Sebkha, Sahara, Algeria.*

**Fig. 2 : Qualité des cours d'eau au regard de la menace pour l'approvisionnement en eau potable (HWS, Human Water Security) et pour la biodiversité (BD).**

*Fig. 2: Water quality in rivers as regards threats to water supply (HWS, Human Water Security) and biodiversity (BD).*

source : www.riverthreat.net



prospective des défis scientifiques et techniques, et produit de nouveaux savoirs pour atteindre ces objectifs de préservation des milieux.

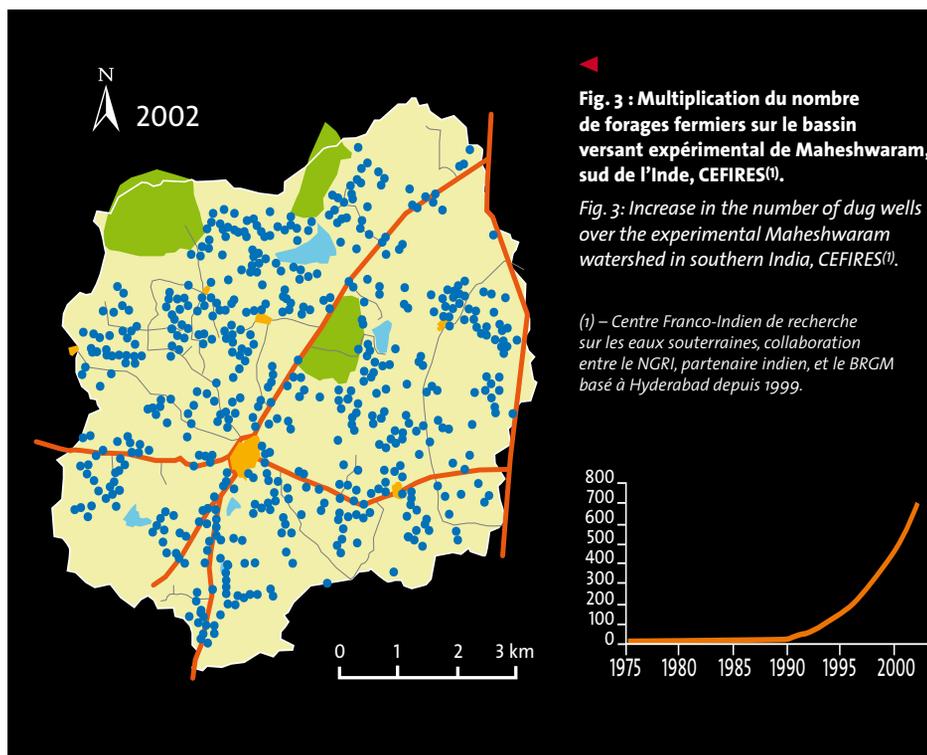
Au niveau européen, la directive-cadre sur l'eau (DCE) du 22 décembre 2000 vise à prévenir et réduire la pollution des eaux, promouvoir son utilisation durable, protéger l'environnement, améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et atténuer les effets des inondations et des sécheresses. Un objectif est d'atteindre le bon état chimique et écologique des milieux aquatiques et des bassins versants à l'horizon 2015. Malgré les efforts consentis, il semble d'ores et déjà que tous les objectifs ne seront pas atteints...

Le conseil mondial de l'eau (www.worldwatercouncil.org), établi en 1996, a pour mission de sensibiliser aux problématiques de l'eau. Il encourage en particulier la gestion et l'usage efficaces de l'eau sur une base durable et organise un forum tous les trois ans.

### Quelle échelle optimale pour la gestion de l'eau ?

Quelles sont les unités de gestion appropriées ? Quelles sont les conditions nécessaires pour une gestion adéquate de la ressource sur le long terme ? Dans un contexte de changement climatique, les pressions sur la ressource en eau actuelle et à venir impliquent-elles une gestion plus globale, régionale, transfrontalière ? Qui sont les acteurs les plus à même de prendre en charge la gestion de l'eau et dans quel cadre légal/administratif ? Nous allons tenter d'apporter des éléments de réponse à ces questions à l'aide de cas emblématiques.

En zone aride et semi-aride, où la rareté des ressources face à des besoins croissants, crée des situations de pénurie qui s'aggravent, l'objectif principal est de garantir la durabilité de l'approvisionnement par une gestion autant des demandes que des ressources. Des outils d'aide à la décision peuvent s'avérer utiles en associant la connaissance du fonctionnement du système et les décisions de politiques de gestion. Par exemple, le CEFIRES a développé un tel outil pour la gestion des aquifères de socle du sud de l'Inde surexploités par la pression croissante de l'agriculture irriguée (figure 3).



**Fig. 3 : Multiplication du nombre de forages fermiers sur le bassin versant expérimental de Maheshwaram, sud de l'Inde, CEFIRES<sup>(1)</sup>.**

*Fig. 3: Increase in the number of dug wells over the experimental Maheshwaram watershed in southern India, CEFIRES<sup>(1)</sup>.*

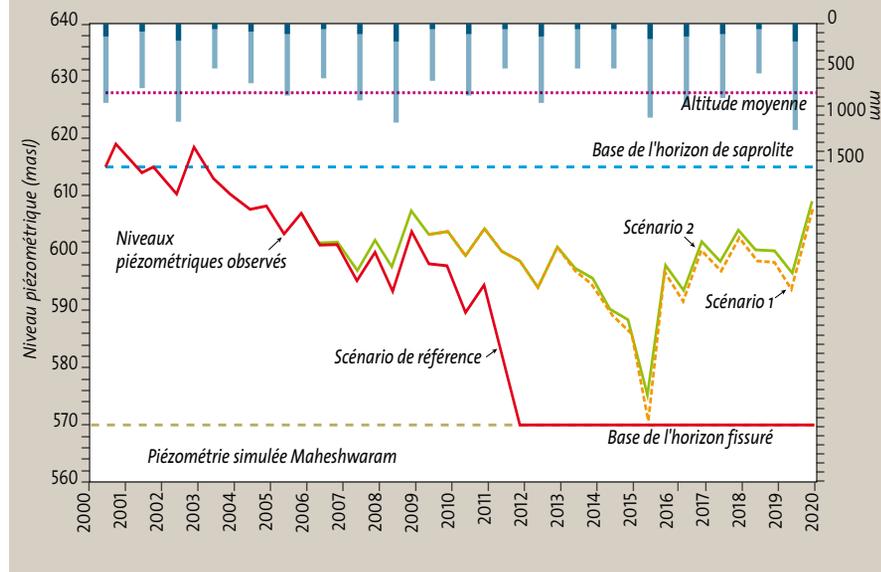
(1) – Centre Franco-Indien de recherche sur les eaux souterraines, collaboration entre le NGRI, partenaire indien, et le BRGM basé à Hyderabad depuis 1999.

Cet outil permet de visualiser, à l'échelle du bassin versant (10-100 km<sup>2</sup>), l'évolution de la nappe en fonction de différents scénarios de prélèvements, de gestion active (recharge artificielle), de variabilité climatique, etc. (figure 4) tout en intégrant les concepts récents d'hydrogéologie de socle [Lachassagne & Wyns (2005)]. Même si des institutions gouvernementales sont en charge du développement et du suivi de la ressource en eaux souterraines, elles n'ont pas su jouer un rôle significatif pour sa gestion. Les ONG se sont montrées plus efficaces en réalisant des expériences pilotes d'éducation des communautés rurales autour d'une gestion communautaire de la ressource. En Tunisie, autre région confrontée à un déficit d'eau, une approche participative entre agriculteurs et autorités a récemment été testée avec succès en utilisant un outil de simulation permettant d'évaluer différents scénarios de gestion. Cette étude offre des perspectives intéressantes de gestion concertée de la ressource en eau [Le Bars *et al.*, (2011)].

En Méditerranée, certains aquifères karstiques disposent de réserves de quelques dizaines de millions de mètres cubes offrant des possibilités de gestion active encore peu pratiquée [Bakalowicz et Dörfliger, (2005)]. Une gestion active permettrait de s'affranchir de variations saisonnières du débit à l'exutoire par des prélèvements saisonniers au sein du réseau karstique, compensés par une recharge lors des hautes eaux et de veiller ainsi à respecter les conditions de reconstitution des réserves en s'opposant à toute surexploitation. La source du Lez à Montpellier, avec un prélèvement de 1 300 l/s à la source, est un exemple de ce type de gestion.

Des recherches sur la gestion intégrée de la ressource en eau sont menées à l'échelle de bassins versants en Afrique ou dans les Andes. Le projet Aguandes en Équateur (région de Quito), par exemple, piloté par l'IRD, vise à encourager la mise en place d'outils de gestion tels que des modèles d'aide à la décision dans des bassins hydrographiques.

En régions tempérées, aux ressources plus abondantes et plus régulières, la conservation de la qualité de l'eau et la protection des écosystèmes sont des objectifs prioritaires. Les actions menées par les agences de l'eau à l'échelle du bassin ont permis d'améliorer la qualité des eaux de surface, grâce à la mise en place de stations d'épuration adaptées. Concernant la protection des aquifères, un aspect de la gestion consiste à caractériser le temps de transfert des contaminants dans les aquifères, à établir des cartes de vulnérabilité des aires d'alimentation des captages afin de définir les actions prioritaires à mener sur des zones critiques.



▲ **Fig. 4 : Scénarios d'utilisation de l'eau souterraine pour le bassin expérimental de Maheshwaram.**

D'après Dewandel *et al.*, 2010.  
Fig. 4: Scenarios of groundwater use for the experimental Maheshwaram watershed.

After Dewandel *et al.*, 2010.

Ces exemples montrent que la bonne gestion de la ressource en eau s'effectue à l'échelle locale/régionale du bassin hydrographique ou de l'aquifère.

L'option qui consiste à acheminer de l'eau sur de grandes distances n'est pas une solution satisfaisante, et les quelques projets dans ce sens n'ont rencontré que des succès limités et fait émerger des situations potentiellement conflictuelles.

### Vers une « bonne » gestion de l'eau : une affaire locale aux conséquences potentiellement globales

Les processus physico-chimiques contrôlant les différents compartiments du cycle de l'eau sont globaux ; cependant, la diversité des contextes climatique, géologique, économique, institutionnel et humain fait qu'une gestion adéquate de la ressource en eau douce doit se faire à l'échelle géographique correspondante. Pour garantir cette bonne gestion, les organismes doivent pouvoir implémenter leur action à cette échelle, comme les agences de bassin en France, par le biais de structures de gestion *ad hoc* ou les ONG à l'échelle de la communauté dans le sud de l'Inde.

Au vu de la disparité des contextes et des problématiques de gestion, une étape primordiale préalable à toute gestion est d'avoir une connaissance précise de la ressource grâce à des études de caractérisation des milieux, au suivi de l'état des ressources sur le long terme et à la mise en place d'outils de modélisation (encadré M. Lambert, page 101). Sur cette base, des outils robustes d'aide à la décision, éléments essentiels à

la bonne gestion de la ressource dans un cadre socio-économique durable, peuvent être mis au point et simuler différents scénarios de demande et d'approvisionnement. Ils peuvent ainsi encourager le dialogue entre les acteurs concernés, caractériser la vulnérabilité économique des usagers ou encore évaluer les coûts et bénéfiques des mesures à mettre en place pour assurer ou restaurer le bon état chimique d'une masse d'eau.

Cette gestion locale de la ressource n'exclut pas l'existence d'institutions de gouvernance supranationale ou mondiale ; de telles institutions peuvent faire office de plateforme d'échanges d'informations et d'expériences. Des réflexions sont menées dans un cadre international pour la bonne gestion des aquifères transfrontaliers ou la gestion amont-aval des bassins de grands fleuves traversant plusieurs pays. L'objectif du FFEM (Fonds

## ► RECHARGE ARTIFICIELLE ET GESTION ACTIVE DES NAPPES EN ZONE LITTORALE

Joël Casanova – Géochimiste – Chef de projet – BRGM Service Eau – j.casanova@brgm.fr

La préservation des ressources en eau souterraine constitue un enjeu environnemental et économique dans les zones littorales. La demande croissante en eau en raison d'un afflux saisonnier de population peut en effet conduire à une salinisation des ressources lorsqu'elles sont surexploitées de manière chronique. Limiter la salinisation des nappes côtières est ainsi cohérent avec l'objectif de la directive-cadre européenne qui est d'atteindre, pour les eaux souterraines, un bon état écologique en 2015. L'intérêt économique de préserver ces ressources en eau est de pérenniser une ressource en eau locale et d'éviter le recours à des transferts d'eau. Ces derniers peuvent en effet représenter des investissements de deux à dix fois supérieurs à la maîtrise du

biseau salé. Dans ce contexte, le recyclage des eaux usées (REUSE) constitue un moyen prometteur pour créer de nouvelles ressources permettant de juguler le stress hydrique et de sortir de la spirale « traiter de plus en plus une eau de plus en plus polluée ». L'avantage décisif du recyclage des eaux usées est qu'il crée un « gisement » d'eau précisément là où les besoins s'expriment, et de taille proportionnelle à ces derniers. Le plus souvent développés à petite échelle les projets de REUSE sont destinés à des usages non potables (irrigation, arrosage de terrains de golf...).

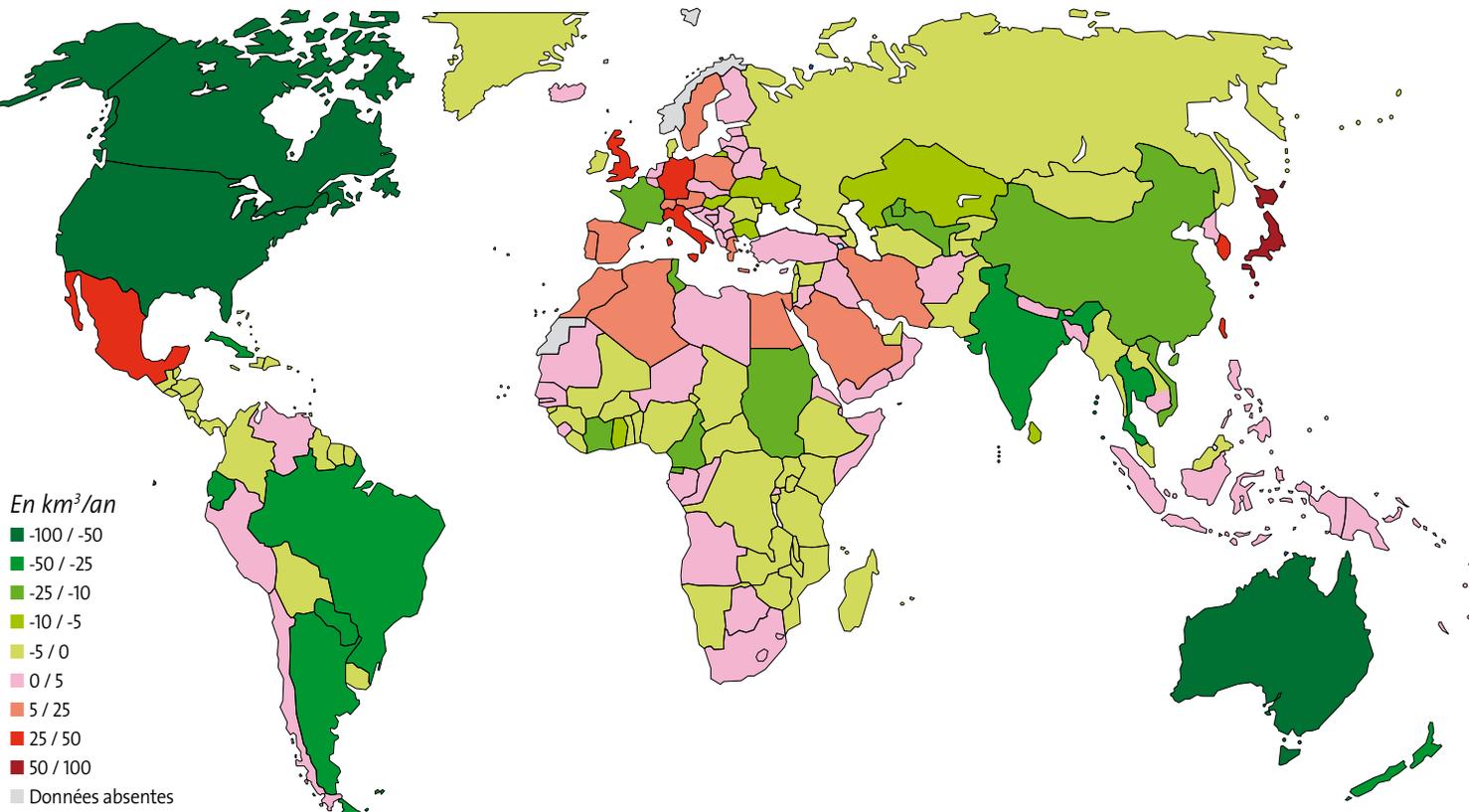
L'objectif est de passer d'une gestion passive du biseau salé (réduire les pompages pour

l'alimentation en eau potable) à une gestion dynamique : optimiser les pompages et les réalimentations en fonction des prévisions apportées par la modélisation et le suivi en continu de l'aquifère. L'approche opérationnelle consiste à : (1) développer un système de gestion active des aquifères côtiers permettant au gestionnaire d'injecter de l'eau douce en fonction des prélèvements d'eau potable, de façon à maîtriser (repousser, stabiliser ou ralentir) la progression de l'intrusion saline ; (2) étudier la possibilité de recourir à des eaux résiduares urbaines prétraitées pour la réalimentation des nappes côtières, en intégrant les impacts sanitaires et environnementaux liés à une injection dans la zone non saturée. ■

### **Pilote REUSE : colonne de sol reconstitué avec infiltration d'eau usée traitée et monitoring par bougies poreuses (R&D Veolia-BRGM).**

*REUSE pilot plant: reconstituted soil column with infiltration by treated waste water and monitoring via porous plugs (Veolia-BRGM R&D).*





Français pour l'environnement mondial) est ainsi de contribuer à une meilleure gestion des eaux internationales en privilégiant les projets qui donnent une place importante à la collaboration entre États, renforcent les réseaux de mesure et les systèmes de suivi, et contribuent à diminuer les sources de pollution.

Même si des démarches améliorant la gestion de l'eau se mettent en place, la question des stress hydriques croissants dans certaines parties du monde reste prépondérante et il faut explorer d'autres pistes pour y répondre : maîtriser la demande (irrigation au goutte à goutte, réduction des fuites), faire appel à des ressources non conventionnelles (recyclage des eaux usées, dessalement...) (encadré J. Casanova, page 99). L'amélioration de la qualité de l'eau peut également accroître l'offre disponible. Cependant, l'assainissement est une priorité négligée par les gouvernements, et les investissements consentis à ce jour sont bien loin de garantir l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement fixés par les Nations unies.

Une gestion adéquate passe aussi par une démarche économique (investissements, partage équitable des coûts, etc.). Une approche possible est de mettre en place de mesures contraignantes accompagnées de contreparties financières. Ce modèle a été appliqué avec succès à l'échelle de petits bassins versants pour limiter les pollutions agricoles diffuses dans les captages et pourrait être reproduit pour limiter les prélèvements agricoles dans les nappes surexploitées [Montginoul (2011)].

La gestion locale ou régionale de la ressource en eau a des conséquences à l'échelle planétaire. Le concept d'eau virtuelle développé par J.-A. Allan (1993) pour décrire les

échanges d'eau sous forme de produits consommateurs d'eau (essentiellement des denrées) entre les différentes parties du monde, l'illustre bien (figure 5). L'eau utilisée pour la production de viande, de fruits et de légumes peut représenter la moitié de la consommation en eau des pays importateurs !

L'utilisation des réserves d'eaux souterraines dans les régions arides à semi-arides, en augmentation au cours des dernières décennies, peut avoir des conséquences globales. Les travaux de Wada *et al.*, (2010) ont permis d'estimer à 0,8 mm ( $\pm 0,1$ ) par an la contribution de l'exploitation des eaux souterraines soit 25 % ( $\pm 3$ ) de l'augmentation totale du niveau des océans (3,1 mm/an).

En ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, les pressions sur les ressources minérales s'accroissent et l'eau douce n'y fait pas exception : croissance économique, démographie, changement climatique mettent les ressources en eau douce à rude épreuve surtout dans les pays émergents. L'eau douce, ressource minérale exceptionnelle, nécessite une gestion adéquate à une échelle locale ou régionale, afin de garantir l'harmonie du « village global » sur la durée. Les sociétés ont su s'adapter par le passé, mais de nouveaux plans d'adaptation entraînant des choix, des coûts et des compromis sont indispensables. La réduction des pertes dans les réseaux et dans les systèmes d'irrigation est à rechercher, tout comme l'utilisation d'eaux de différentes qualités pour différents usages et le stockage saisonnier d'eau de surface ou d'eau recyclée pour permettre la recharge des aquifères. ■

Les auteurs remercient chaleureusement J. Margat pour ses discussions et sa relecture.

▲ Fig. 5 : Carte du monde montrant les échanges d'eau virtuelle.

Fig. 5: World map of virtual water trades.  
Source: www.waterfootprint.org



## Water resource: a need for local management within a global approach

Water is a unique mineral resource, mobile and renewable and used for various applications that may be conflicting. The fresh water resource is essential to life; however, its integrity is under increasing pressure due to the development of modern societies. In response to this situation, the concept of sustainable water resource management has gained momentum over recent years. The question addressed here is to try to define good practice in water resource management, at an appropriate scale and within a suitable regulatory framework, as the fresh water resource is unevenly distributed around the world. Existing water resource management approaches are diverse, as they have to be tailored to the local/regional context: a community-based approach in rural southern India to deal with groundwater overexploitation, aquifer vulnerability mapping to protect groundwater from agricultural or industrial contaminants, active karstic aquifer management throughout the Mediterranean region, integrated water resource management at an Andes' river basin scale, water agency actions at a river basin scale in France to restore the good ecological status of water bodies, etc. The regulatory framework is adapted to this variability; it may be situated at local or regional scale, but also at an international one (large river basins or transboundary aquifers). These examples show that efficient water resource management is achieved at the natural scale of the system and should be aligned with the quantitative or qualitative issues at stake. Adequate monitoring and modeling efforts to achieve an appropriate understanding of the hydrological systems is a prerequisite to the use of management tools. Good practice in water resource management is a local or regional affair that becomes an essential part of sustainable development in the 21st century. Fresh water resource stress and scarcity will remain high in different parts of the world, and additional measures will be required such as changes in behavior to reduce water consumption or the development of non-conventional resources.

## ▶ LES GÉOSCIENCES AU SERVICE DE LA GESTION DES EAUX

Marc Lambert – Ingénieur ENSG Nancy – Directeur du Syndicat des eaux du Vivier (SEV) – Marc.LAMBERT@mairie-niort.fr

Le Syndicat des eaux du Vivier (SEV) est la plus grosse collectivité productrice et distributrice d'eau en régie des Deux-Sèvres, incluant Niort et quelques communes du marais poitevin (environ 100 000 habitants interconnectés concernés).

La compétition entre irrigation et eau potable, utilisant des ressources souterraines karstiques de faible réserve, à faible protection et à remplissage annuel, a occasionné dans les dernières décennies des situations critiques pour l'alimentation en eau potable de Niort (notamment en 2005) qui ont pu être gérées grâce à une approche « géoscientifique » prévisionnelle. La définition de crise quantitative pour un service d'eau peut se résumer par le franchissement d'un simple ratio :

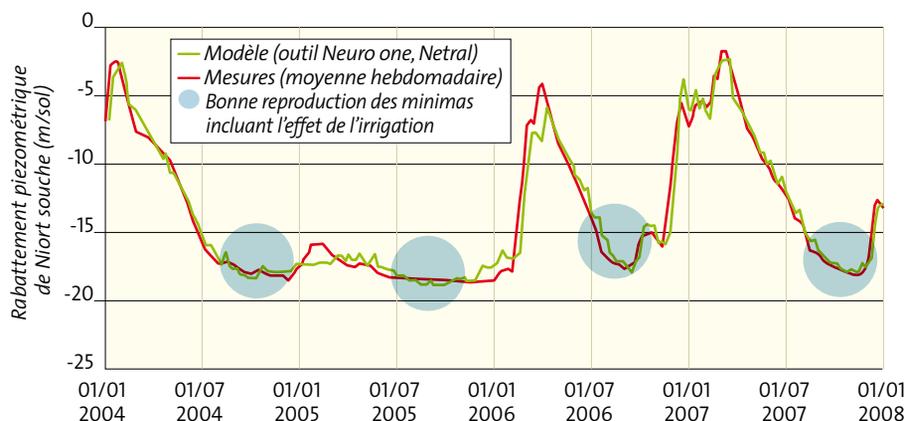
**Ressources instantanées disponibles / Besoins totaux en pointe < 1**

Les géosciences ont ainsi été mises en œuvre sur ce volet pour :

- étudier le bassin versant, la cinétique de remplissage de la ressource karstique et la modéliser mathématiquement (*figure*) ;
- comprendre le comportement des consommateurs, modéliser et prévoir les jours de pointe et les tendances à moyen et long terme ;
- élaborer des scénarios de franchissement du ratio précité en intégrant les stockages naturels (niveau annuel des réserves en nappe) et humains (châteaux d'eau, barrages...), et dimensionner les secours ;
- aider à l'élaboration d'indicateurs de suivi, sur la consommation et les prélèvements agricoles (en été, 50 exploitations qui irriguent consomment autant d'eau que 100 000 habitants), pour anticiper et gérer, *via* la fixation d'arrêtés préfectoraux de limitation des usages...

Ces approches scientifiques ont donné lieu à plusieurs publications et formations (ENGREF, ENSOSP...) et ont reçu le prix de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne 2007 pour leur utilisation dans la gestion de la crise de l'étiage centennal 2005. Elles sont actuellement étendues à la compréhension de l'évolution des pollutions aux nitrates et pesticides dans le cadre du projet de recherche CAMERA, co-financé par la région, le FEDER et le BRGM. ■

**Bibliographie :** Lambert Marc – Géologues n° 167, décembre 2010 – [www.revue.ufg-asso.com](http://www.revue.ufg-asso.com). Lambert Marc – Actes du colloque H2karst, septembre 2011 à Besançon, à paraître fin 2011. <http://sites.google.com/site/h2karst/>



### ▲ Modélisation par réseau de neurones des effets de l'irrigation sur la nappe en amont de la source du Vivier.

Neural network modelling of irrigation effects on the groundwater level upstream from the Vivier spring.

© SEV.