

# H<sub>2</sub>O : un savoir-faire

Pradeep Aggarwal & Ali Boussaha





# L'AIEA enseigne comment exploiter les aquifères de la planète.

*Nous savons que l'eau est essentielle à la vie.* Ce qu'on sait moins, c'est qu'il y a peut-être assez d'eau douce pour tout le monde — à condition de bien comprendre et gérer les ressources mondiales.

L'eau est la clé du développement socio-économique. Elle est aussi essentielle à la réduction de la pauvreté. Dans la Déclaration du Millénaire, les États Membres de l'ONU ont résolu « de réduire de moitié, d'ici à 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas accès à l'eau potable » et « de mettre fin à l'exploitation irrationnelle des ressources en eau en élaborant, aux niveaux régional, national et local, des stratégies de gestion qui favorisent un accès équitable et un approvisionnement satisfaisant ».

L'augmentation constante de la demande mondiale d'eau, associée au développement rapide de l'industrie et de l'agriculture, menace à la fois l'approvisionnement en eau douce et sa qualité. Aujourd'hui, une grande partie de la population mondiale, en particulier dans les régions arides, souffre d'un approvisionnement insuffisant en eau. Le Mahatma Gandhi avait raison, il y a plus de 60 ans, lorsqu'il disait qu'« il y a assez d'eau pour les besoins de l'homme, mais pas assez pour son avidité ». D'après le rapport présenté par le Secrétaire général de l'ONU au Sommet mondial pour le développement durable (Johannesburg, 2002), la crise mondiale de l'eau est aussi une crise de gouvernance.

En Afrique, par exemple, le manque d'accès à l'eau et à l'assainissement est considéré à la fois comme une cause et une conséquence de la pauvreté. Malgré l'abondance des ressources — 17 grands fleuves et 160 lacs représentant une superficie de plus de 27 km<sup>2</sup>, ces ressources sont situées, pour la plupart, dans la région humide et subhumide qui entoure l'équateur. En Afrique, l'écoulement de surface est, en moyenne, bien inférieur aux précipitations moyennes du fait de la forte évaporation et évapotranspiration. Il en résulte une sécheresse endémique dans certaines parties du continent.

C'est pourquoi les eaux souterraines — bassins et lacs des systèmes aquifères — de l'Afrique sont une ressource vitale. Elles fournissent près de deux tiers de l'eau d'alimentation du continent, et encore davantage en Afrique du Nord

De même, les ressources en eau de l'Amérique latine avoisinent les 3 millions de km<sup>3</sup> et seul l'équivalent d'un dixième de la quantité totale apportée par les précipitations est utilisé chaque année. Dans ces pays, les principaux problèmes ont trait à l'utilisation rationnelle des eaux souterraines et à la prévention de la contamination des ressources disponibles

## Des lignes de vie souterraines

Dans le monde, les eaux souterraines représentent environ 90 % des ressources d'eau douce disponible, hors celles enfermées dans la glace polaire. Près de la moitié de l'eau douce utilisée pour la boisson et l'irrigation dans le monde provient du sous-sol ; le développement humain dépend donc des ressources en eaux souterraines.

Dans le monde, l'irrigation, qui produit 40 % de l'offre alimentaire, dépend pour environ 20 % des eaux souterraines. On estime que près de 10 % de la production

---

---

Près de la moitié de l'eau douce utilisée pour la boisson et l'irrigation dans le monde provient du sous-sol ; le développement humain dépend donc des eaux souterraines.

---

---



## Il y a peut-être assez d'eau douce pour tout le monde — à condition de bien comprendre et gérer les ressources mondiales.

alimentaire mondiale dépend d'eau d'irrigation extraite d'aquifères fossiles ou non renouvelables. D'après la FAO, le recours aux eaux souterraines pour l'irrigation, au cours des dernières décennies, a probablement retardé la prochaine crise alimentaire.

### L'hydrologie isotopique

Malgré l'importance des eaux souterraines pour de nombreux pays, les pouvoirs publics semblent peu enclins à les protéger, peut-être parce qu'il n'est pas facile d'en mesurer l'ampleur et la disponibilité. Les effets des fluctuations temporelles et spatiales croissantes du climat sur les ressources en eau sont également un important facteur à prendre en compte. Les eaux souterraines offrent, dans une certaine mesure, la possibilité d'atténuer ces effets.

Pour élaborer des stratégies de gestion rationnelles, il faut disposer de solides informations hydrologiques sur la qualité et la quantité des ressources en eau. Obtenir ces informations exige beaucoup de temps et de moyens financiers et ne peut généralement se faire dans le bref délai dans lequel il faut satisfaire les exigences de la société en matière d'approvisionnement.

Les techniques nucléaires et isotopiques permettent aux hydrologistes d'évaluer rapidement et de gérer les

ressources en eau à un coût très inférieur. Pour étudier les systèmes hydrologiques, on utilise depuis plus de quatre décennies des isotopes naturels stables ou radioactifs, qui sont particulièrement utiles pour comprendre les systèmes aquifères.

En hydrologie, les applications des isotopes reposent sur le concept général de « traçage », qui consiste à utiliser des isotopes soit introduits intentionnellement, soit naturels (présents dans l'environnement). Les isotopes naturels (radioactifs ou stables) présentent, par rapport aux traceurs (artificiels) injectés, l'avantage de faciliter l'étude de processus hydrologiques sur une échelle temporelle et spatiale bien plus grande grâce à leur distribution naturelle dans un système hydrologique. Ils sont ainsi très précieux dans l'étude régionale de ressources en eau pour obtenir des caractéristiques temporelles et spatiales intégrées de systèmes aquifères. Les traceurs artificiels sont généralement efficaces pour les applications spécifiques ou locales.

Les isotopes naturels le plus souvent utilisés sont ceux de la molécule d'eau — l'hydrogène (deutérium et tritium) et l'oxygène (oxygène 18, carbone 13 et carbone 14) présents dans l'eau en tant qu'éléments de composés carboniques inorganiques et organiques dissous. Le deutérium, le carbone 13 et l'oxygène 18 sont des isotopes stables des éléments respectifs tandis que le tritium et le carbone 14 sont des isotopes radioactifs.



S'agissant des eaux souterraines, les isotopes sont surtout utilisés pour étudier la réalimentation et l'écoulement des nappes, les flux et les interconnexions entre les aquifères, et l'origine, le devenir et le transport des polluants. Dans les climats arides et semi-arides, en particulier, les isotopes sont pratiquement le seul moyen d'étudier et de quantifier la réalimentation des nappes souterraines.

La pollution des aquifères superficiels et des aquifères profonds du fait de la surexploitation des premiers par des contaminants d'origine humaine est l'un des principaux problèmes de gestion des ressources en eau. On peut utiliser des isotopes naturels pour suivre et prédire la distribution spatiale et l'évolution temporelle de cette pollution pour étudier ses scénarios de migration et prendre des mesures correctrices.

### Cartographie des aquifères mondiaux

Le programme de l'AIEA vise à mettre au point des techniques isotopiques de gestion des ressources en eau et à aider les chercheurs à utiliser ces techniques correctement. Il porte en grande partie sur les eaux souterraines. L'estimation des ressources mondiales est généralement déficiente et l'on possède trop peu d'informations fiables sur la proportion d'eaux

renouvelables ou non. L'AIEA, en collaboration avec l'UNESCO et l'Association internationale des hydrologistes (AIH), s'emploie à mieux faire comprendre la répartition mondiale et les quantités d'eaux souterraines non renouvelables ou fossiles. À cette fin, on utilise les propriétés de marquage des données isotopiques recueillies dans les aquifères du monde entier.

Les données isotopiques recueillies pour réaliser la carte mondiale des aquifères l'ont été ces quarante dernières années dans le cadre de projets de coopération technique de l'AIEA, qui ont créé d'importantes capacités et infrastructures scientifiques nationales et régionales tout en aidant à résoudre des problèmes concrets de gestion des eaux superficielles et souterraines. Actuellement, plus de 80 projets de coopération technique traitant d'hydrologie isotopique sont mis en œuvre en Afrique, en Asie et en Amérique latine, pour un budget d'environ 7 millions de dollars.

Ces dernières années, l'AIEA a collaboré très étroitement avec ses États Membres pour intégrer l'hydrologie isotopique aux programmes nationaux et internationaux de gestion des ressources en eau, ce qui s'est traduit par un recours accru à ces techniques. Au centre du Maroc, elles ont été utilisées pour améliorer un modèle de gestion



**Avec de bonnes informations, on peut prendre les décisions requises pour protéger et préserver les ressources en eaux souterraines pour les générations à venir.**

des eaux souterraines pour la plaine de Tadla, importante région agricole. Au Yémen, l'étude isotopique des eaux souterraines du bassin de Sana'a a permis de clairement déterminer la nature et l'origine de la réalimentation des systèmes superficiels. Ces travaux ont permis de mieux comprendre l'efficacité de la réalimentation artificielle, ce qui pourrait conduire à utiliser un aquifère fossile plus profond pour la boisson uniquement.

Récemment, les projets de coopération technique de l'AIEA se sont davantage axés sur la création de partenariats avec d'autres institutions de développement. En Ouganda, un projet mis en œuvre avec l'Agence autrichienne de développement a permis de délimiter les zones de réalimentation des sources de Chuho, près de la ville de Kisoro. Ces sources sont exploitées pour alimenter en eau douce toutes les localités du sud-ouest du pays. Les études isotopiques ont fourni des indications essentielles pour exploiter de façon rationnelle la nouvelle source d'eau.

---

## Les données isotopiques recueillies pour réaliser la carte mondiale des aquifères l'ont été ces quarante dernières années dans le cadre de projets de coopération technique de l'AIEA.

---

Au Bangladesh, l'AIEA a recherché, avec la Banque mondiale et le gouvernement, des alternatives viables pour l'approvisionnement en eau de boisson. Actuellement, l'eau domestique provient en grande partie de puits peu profonds raccordés à un aquifère qui est pollué à l'arsenic. Des études isotopiques ont aidé à déterminer l'ampleur et les possibilités de réalimentation d'un aquifère plus profond.

Trois projets de coopération technique portant sur les aquifères partagés par plusieurs pays d'Afrique ont récemment été mis en œuvre en collaboration avec le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), le PNUD et le PNUE. Ces projets portent sur l'hydrologie isotopique :

- ◆ de l'aquifère nubien (Égypte, Libye, Soudan et Tchad) ;
- ◆ de l'aquifère du Sahara nord-occidental (Algérie, Libye et Tunisie) ;
- ◆ de l'aquifère Iullemeden (Mali, Niger et Nigeria).

## Mieux comprendre l'aquifère nubien

L'aquifère nubien, que partagent l'Égypte, la Libye, le Soudan et le Tchad, est une importante source d'eau d'alimentation et d'irrigation. Les eaux anciennes de cet aquifère s'étendent sur quelque deux millions de kilomètres carrés sous ces quatre pays d'Afrique du Nord-Est. L'aquifère est une importante source d'eau d'alimentation et d'irrigation et la seule source d'eau douce du désert occidental égyptien, qui couvre quelque 67 % de la superficie du pays.

Depuis 2003, l'AIEA aide les pays nubiens à utiliser les techniques isotopiques pour cartographier les ressources en eau. À ce jour, on sait que, dans les conditions climatiques actuelles, les eaux nubiennes sont faiblement réalimentées par les écoulements du Nil dans quelques régions, les précipitations dans certaines régions montagneuses et les écoulements souterrains du Nil Bleu et de la vallée du Nil.

Le projet de l'AIEA a pour but de développer et de consolider la base de connaissances et de données sur l'aquifère et d'élaborer un plan de gestion des eaux souterraines fondé sur un réseau de surveillance. La création d'un réseau de gestion de l'aquifère favorisera grandement le développement de la région et permettra, en fin de compte, de produire durablement de l'eau d'alimentation et d'améliorer la production agricole.

En 2003, l'AIEA a conclu, avec le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), un partenariat en vue d'élaborer, pour l'aquifère nubien, un cadre de gestion durable utilisant l'hydrologie isotopique. L'action que mène l'Agence pour aider les pays nubiens à étudier et à gérer les eaux souterraines partagées a récemment bénéficié d'un don d'un million de dollars accordé par le FEM, qui est basé à Washington. Ce don a été remis par l'entremise du PNUD. Ce financement va étendre la portée du programme de coopération soutenu par l'AIEA et permettre aux pays qui utilisent l'aquifère d'élaborer un plan efficace de gestion des eaux souterraines.

Grâce à ces initiatives, la science et les applications de l'hydrologie isotopique font progresser dans le monde la connaissance des aquifères. Avec de bonnes informations, on peut prendre les décisions requises pour protéger et préserver les ressources en eaux souterraines pour les générations à venir.

---

*Pradeep Aggarwal (P.aggarwal@iaea.org) dirige la Section d'hydrologie isotopique au Département des sciences et applications nucléaires de l'AIEA.*

*Ali Boussaha (A.boussaha@iaea.org) dirige la Section de l'Afrique au Département de la coopération technique de l'AIEA.*