



L'un des cinq secteurs clés du développement durable où les progrès sont encore possibles grâce aux ressources et aux technologies actuellement à notre disposition.

# Gestion des ressources en eau au moyen de l'hydrologie isotopique

Les réserves d'eau douce ne représentent que 2,5 % de toute l'eau présente sur terre, le reste étant de l'eau salée. De plus, une bonne partie de cette eau douce est emprisonnée dans les calottes glaciaires ou sous forme d'humidité dans le sol, ou encore dans des formations aquifères souterraines profondes, devenant ainsi inaccessibles, ce qui signifie que nous disposons en fait de moins de 1 % de ces réserves.

Le développement humain durable repose entièrement sur la disponibilité de l'eau. On estime que plus du tiers de la production alimentaire mondiale dépend de l'irrigation, dont une bonne partie des eaux provient peut-être de ressources souterraines non pérennes. Malgré les progrès accomplis au cours des vingt dernières années pour étendre l'accès à l'eau potable, quelque 1,1 milliard de personnes en sont de nos jours toujours privées. Les zones de pénurie d'eau et de stress hydrique s'étendent de plus en plus, surtout en Afrique du Nord et en Asie de l'Ouest. Au cours des deux prochaines décennies, la demande d'eau à l'échelle de la planète augmentera probablement de 40 %. D'ici 2025, les deux tiers de la population mondiale pourraient vivre dans des pays affectés par des pénuries d'eau modérées ou graves.

Le défi à relever, pour notre génération et les suivantes, consiste à savoir comment gérer cette ressource limitée. Étant donné que les ressources en eau douce doivent très souvent être partagées par plusieurs pays au sein d'une région donnée, il faudra que des mesures nationales et internationales soient prises à tous les niveaux pour améliorer l'accès à l'eau potable dans les régions qui n'en ont pas et pour optimiser l'utilisation de l'eau dans les régions qui en ont, afin de préserver ces réserves pour les générations futures.

L'une des clés de la gestion durable des ressources en eau est d'avoir les connaissances nécessaires pour prendre les bonnes décisions. L'hydrologie isotopique est une technique nucléaire qui fait appel aux isotopes stables et aux isotopes radioactifs de l'environnement, pour retracer les mouvements de l'eau dans le cycle hydrologique. Les isotopes peuvent être utilisés pour étudier les sources d'eau souterraines en vue de déterminer leur origine, leur mode de réalimentation, si elles risquent d'être contaminées par la pollution ou par l'intrusion d'eaux salées, et si elles peuvent être exploitées de manière durable.

Pendant les phases d'évaporation et de condensation, la teneur en isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène d'une molécule d'eau

## Suivi du cycle hydrologique à l'aide d'isotopes

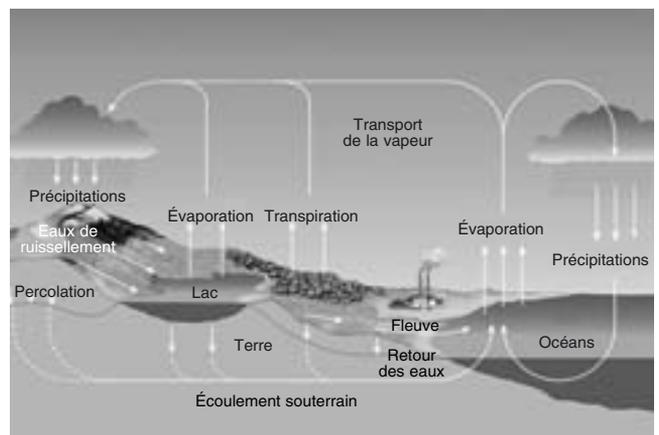


Illustration du cycle hydrologique.

connaît de légères variations. Par conséquent, à différents stades du cycle hydrologique, l'eau est naturellement marquée d'une signature isotopique qui varie en fonction des antécédents de la masse d'eau en question et de son itinéraire au cours du cycle hydrologique. Les isotopes sont des atomes d'un même élément qui ont les mêmes caractéristiques chimiques, mais des propriétés physiques différentes. La science nucléaire permet de les distinguer les uns des autres en les "pesant" au moyen de la spectrométrie de masse.

Les isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène, les deux éléments de l'eau, sont essentiellement des isotopes légers. Lorsque l'eau des océans s'évapore, les isotopes les plus lourds se condensent les premiers et tombent sous forme de pluie avant les isotopes plus légers. La plus grande partie de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère est produite au-dessus des océans. Par conséquent, plus les pluies sont éloignées des côtes, moins elles contiennent d'isotopes lourds.

Chaque stade du cycle hydrologique est caractérisé par une légère différence dans la teneur de l'eau en isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène, différence aussi unique qu'une empreinte digitale.

Les isotopes des polluants comme les métaux-traces ou les composés chimiques dissous dans l'eau peuvent aussi servir à déterminer l'origine de l'eau.

Le schéma obtenu permet aux hydrologues de cartographier les sources d'eaux souterraines et aux climatologues de mieux reconstituer l'histoire des climats, ce qui leur donne une idée de l'impact qu'auront des événements futurs liés aux variations du climat. Les isotopes ouvrent une fenêtre sur des périodes prolongées de phénomènes météorologiques qui s'étendent sur des milliers d'années. Leurs signatures sont préservées partout où l'on observe le cycle de l'eau: dans les sédiments marins et lacustres, les cercles des arbres, les glaciers et les calottes glaciaires, les alluvions dans des cavernes et les eaux souterraines.

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) appuie le recours à l'hydrologie isotopique pour accroître les connaissances sur les ressources en eau. Chaque année, elle consacre près de 3 millions de dollars des États-Unis à son programme sur les ressources en eau. Elle a également investi environ 30 millions de dollars des États-Unis à l'appui de 150 projets dans 60 pays pour améliorer la gestion des ressources en eau au moyen de l'hydrologie isotopique et, ce faisant, elle a dispensé une formation dans ce domaine à des centaines de jeunes scientifiques. Les isotopes sont des outils puissants qui peuvent aussi être utilisés pour étudier les fuites dans les barrages et les retenues pour déterminer les sources de pollution de l'eau, et pour découvrir des réservoirs souterrains aptes à alimenter en vapeur des centrales géothermiques.

## Création de capacités régionales

L'une des priorités du programme de coopération technique de l'AIEA est, en favorisant la coopération entre pays en développement, d'aider à mettre en place des compétences locales en techniques isotopiques. Grâce à cette approche, des progrès importants ont été réalisés à cet égard en Afrique et en Amérique latine.

Un projet régional auquel participent l'Afrique du Sud, le Kenya, Madagascar, la Namibie, l'Ouganda, la Tanzanie et le Zimbabwe vise à créer une capacité régionale pour permettre à ces pays de recourir aux techniques et à l'analyse isotopiques dans le cadre de leur recherche de ressources en eaux souterraines. Ce projet a abouti à la construction d'une installation d'analyse moderne à l'Université de Witwatersrand (Afrique du Sud), installation qui est sur le point de devenir un centre d'analyse autosuffisant pour la région. Les pays participant à ce projet régional sont maintenant en mesure d'incorporer l'analyse isotopique dans leurs recherches hydrologiques. La Tanzanie utilise également des données recueillies durant le projet pour mettre au point des plans de protection de ses eaux souterraines.

Grâce à un projet régional semblable en Amérique latine, 30 organismes de divers pays (Chili, Colombie, Costa Rica, Équateur, Paraguay, Pérou et Uruguay) utilisent maintenant des techniques isotopiques et traditionnelles pour recueillir des données sur un système aquifère. Ils collaborent pour trouver des solutions aux problèmes liés à la pénurie d'eau et à la gestion des ressources dans la région. Un nouveau projet régional, lancé en 2001, a pour objectif d'appliquer les techniques isotopiques dans le cadre d'un projet financé par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) portant sur la protection de l'environnement et le développement durable du système aquifère de Guarani, vaste formation aquifère d'eau douce que se partagent l'Argentine, le Brésil, le Paraguay et l'Uruguay.

Depuis près de 40 ans, l'AIEA et l'Organisation météorologique mondiale (OMM) gèrent à l'échelle planétaire un réseau de

surveillance des isotopes dans les précipitations. Les données recueillies par le Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP) permettent de comprendre les processus influant sur le volume et la répartition géographique des précipitations et fournissent des éléments de comparaison pour d'autres applications. À l'avenir, ce réseau de surveillance pourrait être élargi pour inclure la surveillance des rivières. Un tel réseau fournirait des données de référence précieuses pour l'étude des variations climatiques et l'analyse des relations pluie-débit à l'échelle des bassins, ce qui renforcerait les données isotopiques déjà recueillies grâce au GNIP.

## À la recherche de solutions

L'hydrologie isotopique est un moyen très rentable d'évaluer la vulnérabilité à la pollution des sources d'eau souterraines. Les isotopes permettent de déterminer la rapidité du mouvement de l'eau et la zone d'alimentation du système, et ces informations sont déterminantes lorsqu'il s'agit de décider où il convient d'extraire l'eau. En effet, ces décisions peuvent parfois faire la différence entre prospérité et misère. Au Bangladesh, de nombreux puits tubulaires collectifs contiennent des quantités élevées d'arsenic naturel. Construits dans les années 70 pour prendre la relève des eaux de surface contaminées insalubres, ces puits sont à l'origine de graves maladies, d'invalidités, voire de décès, résultats des effets insidieux d'un lent empoisonnement à l'arsenic. Des initiatives internationales visant à inspecter ces puits pour déterminer ceux qui ont une teneur inacceptable en arsenic sont maintenant en cours avec l'appui de la Banque mondiale et d'autres organismes, mais de nombreuses années d'efforts seront peut-être nécessaires avant que l'on trouve une solution durable à ce problème complexe. Dans le cadre d'un projet de la Banque mondiale, l'AIEA collabore dans cette région avec une organisation non gouvernementale à des recherches visant à déterminer si les aquifères profonds resteront exempts d'arsenic s'ils sont utilisés comme alternative aux puits tubulaires et à mieux comprendre comment d'autres aquifères ont pu être contaminés par l'arsenic. Les données obtenues durant ce projet d'hydrologie isotopique aideront les spécialistes de la gestion de l'eau à trouver au Bangladesh des sources pérennes d'eau salubre.

L'exploitation à long terme des ressources en eau est une responsabilité mondiale. À travers le cycle hydrologique, toute l'eau de la planète est affectée par les activités humaines. La perspective d'une pénurie d'eau croissante se concrétisant de plus en plus, les décisions portant sur les sites d'extraction de l'eau, la quantité à utiliser et la manière de la gérer doivent reposer sur des informations fiables si nous voulons protéger cette précieuse ressource pour les générations futures. L'hydrologie isotopique est un outil important qui est utilisé partout dans le monde pour obtenir les informations qui permettront de prendre des décisions éclairées, pour les temps présents et à venir.

De plus amples renseignements sont disponibles sur le site WorldAtom de l'AIEA, à l'adresse suivante :

<http://www.iaea.org/programmes/ripc/ih/index.html>