

IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La publication phare de l'AIEA | Septembre 2025 | www.iaea.org/fr/bulletin



L'ATOME POUR L'EAU

Polluants de l'eau : la crise invisible, p. 10

Repenser l'irrigation : améliorer l'utilisation de l'eau
grâce à la science nucléaire, p. 20

Des solutions nucléaires et isotopiques face à la pénurie d'eau, p. 26



LE BULLETIN DE L'IAEA

est produit par le

Bureau de l'information et de la communication

Agence internationale de l'énergie atomique

Centre international de Vienne

B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : (43-1) 2600-0

iaeabulletin@iaea.org

Rédaction : Neha Sud

Direction de la rédaction : Mary Albon

Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'IAEA est disponible dans toutes les langues de l'ONU, à l'adresse suivante :

www.iaea.org/bulletin

Des extraits des articles du Bulletin peuvent être utilisés librement à condition que la source soit mentionnée. Lorsqu'il est indiqué que l'auteur n'est pas fonctionnaire de l'IAEA, l'autorisation de reproduction, sauf à des fins de recension, doit être sollicitée auprès de l'auteur ou de l'organisation d'origine.

Les opinions exprimées dans le Bulletin ne représentent pas nécessairement celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique, et cette dernière décline toute responsabilité à cet égard.

Couverture :

AIEA

Suivez-nous sur :



L'atome pour la paix
et le développement

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a pour mission d'aider à prévenir la prolifération des armes nucléaires et d'aider tous les pays – en particulier ceux en développement – à tirer parti de l'utilisation pacifique, sûre et sécurisée de la science et des technologies nucléaires.

Créée en tant qu'organisme autonome des Nations Unies en 1957, l'AIEA est le seul organisme du système des Nations Unies spécialisé dans les technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques en leur genre aident à transférer des connaissances et des compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau, l'industrie et l'environnement.

L'AIEA sert aussi de plateforme mondiale pour le renforcement de la sécurité nucléaire. Elle a créé la collection Sécurité nucléaire, dans laquelle sont publiées des orientations sur la sécurité nucléaire faisant l'objet d'un consensus international. Ses travaux visent en outre à réduire le risque que des matières nucléaires et d'autres matières radioactives tombent entre les mains de terroristes ou de criminels, ou que des installations nucléaires soient la cible d'actes malveillants.

Les normes de sûreté de l'AIEA établissent les principes fondamentaux, les prescriptions et les recommandations qui permettent de garantir la sûreté nucléaire et sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un niveau élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Elles ont été élaborées pour tous les types d'installations et d'activités nucléaires destinées à des fins pacifiques ainsi que pour les mesures de protection visant à réduire les risques radiologiques existants.

En outre, l'AIEA vérifie au moyen de son système d'inspection que les États Membres respectent l'engagement qu'ils ont pris, au titre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires et d'autres accords de non-prolifération, de n'utiliser les matières et installations nucléaires qu'à des fins pacifiques.

Le travail de l'AIEA comporte de multiples facettes et fait intervenir un large éventail de partenaires aux niveaux national, régional et international. Les programmes et les budgets de l'AIEA sont établis sur la base des décisions de ses organes directeurs – le Conseil des gouverneurs, qui compte 35 membres, et la Conférence générale, qui réunit tous les États Membres.

Le Siège de l'AIEA est au Centre international de Vienne en Autriche. L'Agence a des bureaux extérieurs et des bureaux de liaison à Genève, à New York, à Tokyo et à Toronto, et exploite des laboratoires scientifiques à Monaco, à Seibersdorf et à Vienne. En outre, l'AIEA apporte son appui et contribue financièrement au fonctionnement du Centre international Abdus Salam de physique théorique à Trieste (Italie).

Préserver notre ressource la plus précieuse en tirant parti du pouvoir de la science et de la technologie nucléaires

Par Rafael Mariano Grossi, Directeur général de l'AIEA

L'eau est la première ressource partagée au monde. Elle est au fondement de la croissance et du développement des écosystèmes et des civilisations humaines. Mais aujourd'hui, une forte pression pèse sur cette réserve vitale.

Les changements climatiques affectent la disponibilité de l'eau. À mesure que les températures mondiales augmentent, les glaciers fondent, les lacs s'évaporent, et le niveau des mers s'élève, entraînant une salinisation des eaux souterraines côtières. Les phénomènes météorologiques, qui deviennent plus extrêmes et se font plus fréquents, rendent l'approvisionnement en eau plus imprévisible.

Alors que la population mondiale ne cesse d'augmenter, la demande en eau s'accroît elle aussi, induite par l'agriculture, les ménages, l'assainissement, les activités industrielles et la production d'électricité. Dans le même temps, la pollution de l'eau augmente à un rythme sans précédent, car les contaminants qui nuisent à la qualité de cette ressource se multiplient d'un bout à l'autre du cycle.

Pour protéger et préserver nos ressources en eau – et donc nos sociétés et nos économies, ainsi que notre santé et celle de notre planète –, nous devons d'abord mieux les connaître, et donc mesurer, surveiller et suivre les mouvements de l'eau et de ses polluants. Nous avons besoin de données, de technologies économes en eau (en particulier dans l'agriculture et l'industrie) et de systèmes de gestion de l'eau efficaces, mais également d'une collaboration et d'une coordination entre les secteurs et par-delà les frontières nationales.

Cette année, le forum scientifique de l'AIEA aura pour thème « L'atome pour l'eau ». Les sciences et technologies nucléaires nous offrent d'excellents outils pour comprendre nos ressources en eau et les protéger, ce qui explique pourquoi l'AIEA a fait de l'eau un domaine prioritaire de travail dès sa création.

Depuis 65 ans, l'AIEA surveille les précipitations au moyen du Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations, qui fournit des données de référence pour la recherche hydrologique et la gestion des ressources en eau. La Section de l'hydrologie isotopique de l'AIEA et son laboratoire étudient les isotopes présents dans l'eau pour en déterminer l'âge et la source, suivre ses mouvements et évaluer sa qualité. Les données recueillies aident à déterminer la quantité d'eau dont nous disposons et le temps nécessaire à la recharge des eaux souterraines, pour nous assurer que nous utilisons l'eau de manière rationnelle. En outre, elles aident à identifier les contaminants dans l'eau et à suivre leur parcours.

L'AIEA a également derrière elle une longue expérience de développement et de diffusion de technologies et de méthodes nucléaires et isotopiques permettant de surveiller, de mesurer,

de préserver et de maintenir les ressources en eau. Ce numéro du Bulletin de l'AIEA présente certains de nos travaux dans ces domaines, tels que le recours simultané à des données fournies par des humidimètres à neutrons de rayons cosmiques et à la technologie d'irrigation au goutte-à-goutte pour aider les agriculteurs à utiliser l'eau de manière plus rationnelle, ou encore le traitement des eaux usées au moyen de la technologie des faisceaux d'électrons pour faciliter la collecte des microplastiques et leur élimination.



Ce numéro montre également comment les scientifiques de l'AIEA se servent de l'intelligence artificielle et d'autres technologies de pointe pour faire progresser l'analyse et la modélisation tout au long du cycle de l'eau afin de fournir aux décideurs de meilleures informations pour la gestion des ressources en eau.

La pollution, et notamment la pollution plastique, nuit à nos systèmes hydrologiques et à nos océans. En 2021, j'ai lancé l'initiative Technologie nucléaire au service de la lutte contre la pollution par le plastique (NUTEC Plastics), dans l'idée de tirer parti du potentiel de la science nucléaire pour trouver des solutions à la crise mondiale de la pollution plastique en améliorant le recyclage et en réduisant la pollution marine par le plastique. En 2023, j'ai mis en place le Réseau mondial des laboratoires d'analyse de l'eau (Réseau GloWAL) pour aider les pays à gérer efficacement leurs ressources en eau et pour favoriser la collaboration et l'innovation dans le domaine de la recherche sur l'eau. Dans le cadre de son programme de coopération technique, l'AIEA apporte aux pays les formations, l'expertise et l'équipement nécessaires pour renforcer leurs capacités nationales de recherche sur l'eau et de surveillance et de gestion de cette ressource.

Nous partageons un même système hydrique mondial : ce qui se passe dans une région peut influencer sur les ressources en eau dans une autre région. Pour gérer efficacement les ressources en eau de la planète, nous devons comprendre ces liens et coopérer. En travaillant ensemble, nous pouvons construire une économie de l'eau plus circulaire et plus durable, qui protège notre environnement et profite à toutes et à tous.



1 Préserver notre ressource la plus précieuse grâce au potentiel de la science et de la technologie nucléaires



4 L'eau, notre responsabilité à toutes et à tous

Entretien avec Retno Marsudi, Envoyée spéciale du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies pour l'eau



6 L'Asie centrale en première ligne pour la préservation des glaciers



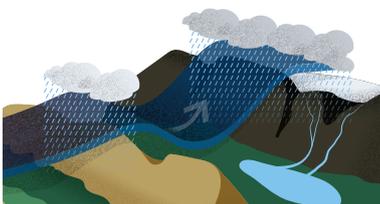
10 Polluants de l'eau : la crise invisible



14 Remonter le cours de l'eau



16 La stratégie du Brésil pour protéger ses ressources en eau douce



18 Des scientifiques étudient les « rivières invisibles » pour gérer les conditions météorologiques extrêmes et les pénuries d'eau



20 Repenser l'irrigation



22 Décoder l'eau



24 L'effet cascade de la coopération transfrontière dans le domaine de l'eau en Europe du Sud-Est



26 Des solutions nucléaires et isotopiques face à la pénurie d'eau



28 Une journée dans la vie d'un spécialiste de l'hydrologie isotopique à l'AIEA



30 Les réseaux de l'AIEA facilitent la recherche sur l'eau



31 L'AIEA en quelques chiffres

INFOS AIEA

32 Actualités

36 Publications

L'eau, notre responsabilité à toutes et à tous

Entretien avec Retno Marsudi, Envoyée spéciale du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies pour l'eau

L'Envoyée spéciale du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies pour l'eau, Retno Marsudi, donne son point de vue sur ce qu'il convient de faire pour assurer la résilience hydrique pour toutes et tous à l'avenir. Engagée au niveau international en faveur des questions relatives à l'eau, elle soutient la mobilisation des énergies et des ressources dans ce domaine et le renforcement de la coopération internationale pour faire progresser l'agenda mondial de l'eau. Elle a été Ministre des affaires étrangères de l'Indonésie de 2014 à 2024.



Parler de l'eau ne consiste pas uniquement à parler d'infrastructures ou de systèmes ; c'est aussi parler de notre survie. Il s'agit de protéger le fondement de la vie et de nos moyens de subsistance.

— Retno Marsudi, Envoyée spéciale du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies pour l'eau

Qu'est-ce que l'eau signifie pour vous ?

L'eau a toujours eu une dimension très personnelle pour moi.

En tant que femme, je vois bien à quel point les difficultés liées à l'eau touchent les femmes et les filles de manière disproportionnée. Dans de nombreuses régions du monde, les pénuries d'eau et l'accès limité à une eau salubre constituent un lourd fardeau pour elles en les contraignant à se déplacer sur de longues distances pour procurer de l'eau à leur famille.

Cependant, les femmes sont aussi à l'origine du changement. La réalité nous montre constamment, je crois, que le rôle moteur des femmes dans les questions liées à l'eau permet d'obtenir des résultats plus durables et plus équitables, non seulement pour ce qui est de l'eau mais aussi dans tous les domaines du développement.

J'estime également que la responsabilité de la gestion de l'eau va au-delà des engagements internationaux ou des mandats institutionnels. Il en va de notre existence même, de notre dignité et de la vie des générations futures. Parler de l'eau ne consiste pas uniquement à parler d'infrastructures ou de systèmes ; c'est aussi parler de survie. Il s'agit de protéger le fondement de la vie et les moyens de subsistance.

C'est pourquoi la responsabilité de traduire en actes les engagements mondiaux en faveur de l'eau est si importante. Elle ne se réduit pas à l'adoption de mesures. Il s'agit d'améliorer la vie de toutes et de tous, partout, en particulier la vie des personnes le plus souvent laissées pour compte.

Selon vous, quelles grandes priorités faut-il fixer pour protéger durablement les ressources en eau de la planète ?

L'eau est essentielle à la vie. Or, nos systèmes hydrologiques subissent actuellement un stress sans précédent dans le monde.

On estime que 2,4 milliards de personnes vivent dans des pays qui connaissent une situation de stress hydrique. En 2022, au moins 1,7 milliard de personnes dans le monde n'avaient d'autre choix que de boire de l'eau provenant de sources contaminées.

Les changements climatiques et les phénomènes météorologiques extrêmes aggravent encore cette situation, l'année 2024 étant la plus chaude enregistrée à ce jour. Il convient d'adopter d'urgence des mesures diversifiées, notamment de renforcer la recherche et les capacités, de renforcer le pouvoir d'agir des femmes et des jeunes pour favoriser l'innovation et de lancer de nombreuses autres actions.

Un élément indispensable est au cœur de tous ces efforts : la coopération internationale, elle-même fondée sur la solidarité internationale.

La coopération internationale est essentielle lorsqu'il s'agit de traduire les engagements internationaux en mesures concrètes. Malheureusement, le financement des actions liées à l'eau reste insuffisant et décroît dans le monde. Or, il faudra 6 700 milliards de dollars supplémentaires d'ici 2030, et plus de 22 000 milliards de dollars d'ici 2050, pour répondre à la demande en eau et construire les infrastructures d'adduction d'eau requises.

Si nous souhaitons assurer la sécurité hydrique à l'avenir, nous devons accorder la priorité à des collaborations internationales audacieuses, notamment dans les domaines du financement, du développement technologique et du renforcement des capacités là où les besoins sont les plus importants.

Quelles sont les approches les plus efficaces pour améliorer l'efficacité, la résilience et la durabilité en matière de gestion de l'eau ?

Je mets constamment l'accent sur le fait que l'eau est notre responsabilité à toutes et à tous quand je m'entretiens de cette question avec des représentants de pays et des parties concernées. Aucun particulier, aucun organisme, aucun pays ne peut à lui seul résoudre les problèmes liés à l'eau. Gouvernements, secteur privé, monde universitaire, organisations de la société civile, autres acteurs : tous doivent unir leurs forces pour imaginer et mettre en œuvre des actions dans le domaine de la gestion de l'eau.

Une approche multipartite facilite l'adhésion de tous, puisque tous les acteurs sont associés à la planification, à l'application et à l'évaluation des solutions en la matière. Cette façon de faire s'appuie sur la diversité des compétences et des capacités de chacune des parties prenantes.

Il est tout aussi important d'adopter une approche multisectorielle, qui intègre la question de l'eau dans toutes les dimensions du développement. La gestion intégrée des ressources en eau peut constituer une solution commune à de nombreux problèmes mondiaux, notamment l'élimination de la pauvreté, la résilience climatique, la sécurité alimentaire et énergétique, la réduction des risques de catastrophe et le renforcement du pouvoir d'agir des femmes et des jeunes.

Ces approches doivent reposer sur un cadre opérationnel solide. La méthode des trois « A » (activités de plaidoyer, alignement et accélération des mesures) est fondamentale à cet égard : activités de plaidoyer pour que l'eau soit érigée en priorité commune, alignement des initiatives liées à l'eau pour en assurer la cohérence, et accélération des mesures afin de stimuler l'innovation et l'action.

Enfin, nous devons saisir l'occasion de tirer parti des transformations introduites par la technologie pour améliorer l'efficacité, la résilience et la durabilité de la gestion de l'eau. Grâce à la technologie, nous pouvons assurer l'efficacité de la gestion et de l'utilisation de l'eau. Nous pouvons produire plus – plus de nourriture, plus d'énergie, plus de croissance économique – avec moins d'eau.

Selon vous, quels sont les atouts majeurs de l'AIEA pour ce qui est de résoudre les problèmes liés à l'eau en s'appuyant sur les sciences et la technologie nucléaires ?

L'AIEA, qui accorde énormément d'importance à la recherche, au développement et au renforcement des capacités, a beaucoup à apporter.

L'hydrologie isotopique est un excellent exemple du potentiel de transformation que recèlent les sciences nucléaires quand il s'agit de résoudre des problèmes complexes liés à l'eau. Sa capacité à déterminer avec précision l'origine, l'âge et la qualité de l'eau constitue une véritable révolution pour la gestion des ressources en eau.

L'hydrologie isotopique nous apporte également une compréhension approfondie des systèmes hydrologiques mondiaux, ce qui nous permet non seulement de relever les défis existants mais aussi d'anticiper les risques de catastrophe liés à l'eau et de nous y préparer. Elle renforce les capacités

d'alerte rapide et la planification de la résilience hydrique à long terme.

J'encourage l'AIEA à continuer de faire de l'application des sciences nucléaires une priorité pour relever les défis les plus pressants, en particulier ceux qui touchent de manière disproportionnée les pays en développement, notamment la sécheresse et les pénuries d'eau, les risques d'inondations causées par des conditions météorologiques extrêmes et la pollution de l'eau. Je pense que, par l'utilisation des sciences et de la technologie nucléaires, l'AIEA contribuera à renforcer la résilience hydrique mondiale.

Qu'attendez-vous et qu'espérez-vous de la Conférence des Nations Unies sur l'eau qui se tiendra en 2026 ?

Les attentes et les espoirs exprimés régulièrement par les pays et les acteurs de l'eau dans le monde : telle est ma boussole.

On attend beaucoup de l'édition 2026 de la Conférence des Nations Unies sur l'eau, dans la mesure où elle constituera un jalon important pour le progrès des questions liées à l'eau dans le monde et une occasion décisive d'accélérer la réalisation de l'objectif de développement durable n° 6 (eau propre et assainissement).

La Conférence devrait également permettre de nourrir la réflexion et d'influer sur l'avenir de l'agenda mondial de l'eau au-delà de 2030. En effet, il est de plus en plus évident que, pour assurer l'avenir de nos ressources en eau, nous devons non seulement agir immédiatement mais aussi savoir ce que nous voulons pour demain, pour les personnes comme pour notre planète.

La réussite de l'édition 2026 de la Conférence des Nations Unies sur l'eau dépend grandement de l'importance de l'engagement des pays et des acteurs de l'eau dans le monde. Il ne sera possible d'obtenir des résultats significatifs et concrets qu'au terme d'un processus de préparation transparent et inclusif. Je me réjouis à la perspective de collaborer avec l'AIEA à la réalisation de cet objectif.



Photo : AdobeStock

L'Asie centrale en première ligne pour la préservation des glaciers

Par Mary Albon

En Asie centrale comme dans d'autres régions montagneuses du monde, les glaciers fondent à un rythme sans précédent. La hausse des températures raccourcit les hivers et prolonge les étés, provoquant un recul des glaciers.

Les glaciers contiennent environ 70 % de l'eau douce de la planète ; près de deux milliards de personnes en dépendent pour l'eau potable, l'agriculture, l'industrie et la production d'énergie. Ils soutiennent également les écosystèmes et jouent le rôle de « stabilisateurs climatiques » locaux en réfléchissant le rayonnement solaire dans l'espace, limitant ainsi l'absorption de chaleur.

À mesure que les glaciers rétrécissent et disparaissent, le cycle hydrologique devient de plus en plus imprévisible, ce qui perturbe l'approvisionnement en eau dans le monde entier. C'est un problème environnemental mais également économique, qui touche les moyens de subsistance de millions de personnes. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement, l'épuisement des ressources glaciaires pourrait grever de 4 000 milliards de dollars le produit intérieur brut mondial, en perturbant l'agriculture, l'approvisionnement en eau des zones urbaines et la production d'énergie.

L'incidence des changements climatiques sur les glaciers d'Asie centrale

En Asie centrale, la situation devient critique. « Les conséquences des changements climatiques à l'échelle mondiale se font sentir dans chacun de nos pays », a déclaré le Président ouzbek Shavkat Mirziyoyev lors du sixième Sommet d'Asie centrale, en août 2024. « L'augmentation des températures, la fonte des glaciers, les inondations, les sécheresses, les tempêtes de poussière et de nombreux autres phénomènes continuent de causer de graves dommages. »

D'après un rapport publié en 2022 par la Banque eurasienne de développement, les températures de la région augmentent presque deux fois plus vite que la moyenne mondiale, accélérant la désertification et la fonte des glaciers.

« À ce jour, plus de 1 000 des 14 000 glaciers du Tadjikistan ont complètement fondu », a déclaré le Président tadjik Emomali Rahmon lors de la première Conférence internationale de haut niveau sur la préservation des glaciers, tenue à Douchanbé en mai 2025. « Au cours des dernières décennies, le volume total des glaciers de notre pays, qui contiennent plus de 60 % des ressources en eau de l'Asie centrale, a diminué de près d'un tiers. »

Des yaks dans une vallée d'Asie centrale.

(Photo : Adobe Stock)



Les glaciers du Kirghizistan ne sont pas épargnés : leur superficie a diminué de 16 % au cours des 50 à 70 dernières années.

« Si cette tendance se maintient, une grande partie des glaciers pourrait avoir disparu à la fin du siècle », a déclaré le Président kirghize Sadyr Japarov à la 29^e Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP29) en 2024. « Il ne s'agit pas seulement de chiffres mais d'une menace directe contre la vie et le bien-être de millions de personnes qui dépendent des glaciers pour leur approvisionnement en eau douce. »

Mettre fin à la crise

À la demande du Tadjikistan, l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé 2025 Année internationale de la préservation des glaciers, afin de sensibiliser à leur fonte et de promouvoir des politiques et des mesures en faveur de leur préservation. Le lancement officiel a eu lieu à New York le 21 mars 2025 à l'occasion de la première Journée mondiale des glaciers.

Quelques semaines plus tard, la Conférence internationale de haut niveau sur la préservation des glaciers a abouti à l'adoption de la Déclaration de Douchanbé sur les glaciers. Elle s'y dit

préoccupée de ce que la disparition progressive des glaciers, des calottes glaciaires, du pergélisol et du manteau neigeux pourrait avoir des effets irréversibles pour certains écosystèmes et de graves répercussions sur l'environnement, les populations et les économies.

Dans la déclaration, la Conférence préconise un inventaire mondial des glaciers et des masses de glace et de neige pérennes ; des approches intégrées de l'atténuation des changements climatiques, de l'adaptation et de la résilience aux fins de la gestion durable de l'eau ; la coopération scientifique en matière de surveillance et d'étude de la cryosphère des régions montagneuses, avec communication des résultats à toutes les parties prenantes ; et des activités de renforcement des capacités associant science, politique et savoirs traditionnels afin de former la prochaine génération de scientifiques et de praticiens spécialisés dans les glaciers.



La coopération internationale pour la surveillance et l'étude des glaciers

Cette année marque également le début de la Décennie d'action pour les sciences cryosphériques, une initiative mondiale visant à faire progresser la recherche et la collaboration internationale et à faire mieux comprendre l'importance des régions gelées de la planète, notamment des glaciers.

La préservation des glaciers est un élément essentiel d'une stratégie régionale globale d'adaptation de l'Asie centrale aux changements climatiques, élaborée conjointement par le Kazakhstan, le Kirghizistan, l'Ouzbékistan, le Tadjikistan et le Turkménistan.

« Aucun pays ne peut relever seul les défis des changements climatiques », déclare le Président Japarov. « Nous devons être solidaires, coopérer et échanger nos données d'expérience. »

Dans le cadre de cette stratégie régionale, les cinq pays renforcent leurs capacités nationales de surveillance des glaciers, effectuent une surveillance conjointe et dressent un inventaire complet des glaciers de la région.

Les données sur les glaciers sont cruciales pour les évaluations scientifiques et la prise de décisions concernant les stratégies d'adaptation et d'atténuation. En 2025, le Tadjikistan a ouvert le premier laboratoire d'hydrologie isotopique d'Asie centrale,

Préparation d'échantillons d'eau de fonte de glaciers pour analyse dans le nouveau laboratoire d'hydrologie isotopique du Tadjikistan. (Photo : Y. Vystavna/AIEA)



consacré à l'étude des glaciers, avec l'appui du programme de coopération technique de l'AIEA. L'AIEA a fourni au laboratoire du matériel permettant d'étudier les glaciers sur le terrain et formé des scientifiques à leur utilisation. Le Tadjikistan a en outre proposé la création d'un réseau régional au sein du Réseau mondial des laboratoires d'analyse de l'eau. L'AIEA collaborera à l'élaboration d'une feuille de route pour celui-ci avec les pays d'Asie centrale.

« Dans les terres arides d'Asie centrale, l'hydrologie isotopique fait le lien entre passé et présent », explique Yuliya Vystavna, hydrologue isotopique de l'AIEA. « Elle étudie les empreintes des climats passés et la fonte actuelle des glaciers afin de promouvoir une utilisation durable de l'eau dans une région où chaque goutte est précieuse. »

Le travail de l'AIEA sur les glaciers

Depuis plus de dix ans, l'AIEA collabore avec des pays montagneux pour surveiller et mesurer le recul des glaciers. Le Kazakhstan et l'Ouzbékistan sont deux des douze pays qui participent à un nouveau projet de recherche coordonné de l'AIEA, qui fait appel à des outils d'hydrologie isotopique pour améliorer l'évaluation des processus complexes liés au recul des glaciers et ses vastes effets sur la disponibilité des ressources en eau.

Malgré leur importance pour l'approvisionnement en eau, la fonte des glaciers et des neiges, les précipitations et les autres sources d'eau sont mal évaluées dans de nombreuses régions gelées. Le projet de l'AIEA aidera les pays à recueillir des données exactes et fiables pour mieux comprendre les glaciers et les capacités de recharge des ressources hydriques locales et régionales. Ces informations serviront à formuler des stratégies de gestion durable de l'eau dans les régions montagneuses et contribueront à mieux planifier la gestion de l'eau pour les communautés en aval.

L'Ouzbékistan, le Tadjikistan et sept autres pays étudient la couverture neigeuse et les glaciers de montagne dans le cadre d'un nouveau projet de coopération technique de l'AIEA visant à appuyer une gestion des ressources en eau transfrontières fondée sur des données factuelles. Un objectif essentiel de ce projet est de consigner les caractéristiques isotopiques des glaciers proches de la disparition.

Par l'intermédiaire du Centre mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture (Centre mixte FAO/AIEA), l'AIEA étudie l'incidence du recul des glaciers sur les sols et les ressources en eau à l'aide de techniques nucléaires et isotopiques avancées. Des outils tels que l'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques et le traceur

isotopique permettent de surveiller précisément et en temps réel l'accumulation de neige sur les glaciers et d'évaluer la redistribution des sédiments des zones déglacées aux fleuves et aux lacs en aval. Par l'intermédiaire de son programme de coopération technique, l'AIEA forme des scientifiques des Andes à l'Himalaya à utiliser ces techniques de surveillance des glaciers et contribue ainsi à l'élaboration de stratégies d'adaptation aux changements climatiques fondées sur des données factuelles propres à chaque site.

« En associant la science nucléaire aux compétences locales, nous permettons aux scientifiques et aux décideurs de traduire les données en actions concrètes pour la résilience climatique », déclare Gerd Dercon, chef du Laboratoire de la gestion des sols et de l'eau et de la nutrition des plantes du Centre mixte FAO/ AIEA.

Montagnes du Pamir (Kirghizistan).

(Photo : Adobe Stock)



Polluants de l'eau : la crise invisible

Par Emma Midgley

L'eau est essentielle à la sécurité alimentaire, à la santé humaine et au développement économique. Cependant, tout au long du cycle hydrologique, la pollution gagne du terrain à mesure que la population augmente et que les changements climatiques s'intensifient.

Les polluants de l'eau se présentent sous plusieurs formes, souvent invisibles à l'œil nu. Parmi ceux que l'on retrouve le plus fréquemment figurent les engrais, le plastique, les eaux usées, les produits pharmaceutiques, les hormones, les produits chimiques industriels, les produits pétrochimiques, les métaux lourds et les produits issus du drainage minier.

Les pays qui cherchent à améliorer la qualité de l'eau se heurtent à un obstacle majeur : le manque de données sur leurs ressources en eau. Les techniques nucléaires et isotopiques peuvent nous aider à comprendre l'origine de la pollution de l'eau et offrir des solutions fondées sur la science pour atténuer ce problème.

Le problème de l'azote

L'azote est l'une des principales sources de pollution de l'eau et peut avoir des effets graves sur la santé humaine et sur l'environnement. Les engrais, les eaux usées et les rejets industriels constituent des sources importantes de pollution azotée. Certes, l'utilisation d'engrais azotés a permis d'accroître la production alimentaire au cours des cent dernières années, mais 80 % de ces engrais se perdent dans l'environnement.

« La pollution azotée, en particulier la pollution par les nitrates, constitue une menace considérable pour les cours d'eau, les lacs, les eaux souterraines et les eaux côtières », affirme Ioannis Matiatos, spécialiste en hydrologie isotopique

au Centre hellénique de recherche marine (Grèce). « Pour protéger les systèmes aquatiques et orienter les efforts de nettoyage des zones polluées, il est indispensable de trouver l'origine de la contamination par les nitrates. »

Les nitrates correspondent à la forme la plus soluble de l'azote, ce qui signifie qu'ils peuvent facilement s'infiltrer dans les eaux souterraines, les lacs et les cours d'eau. En forte concentration dans l'eau potable, les nitrates peuvent diminuer la capacité du sang à transporter l'oxygène dans le corps. La pollution azotée provoque également une accumulation excessive de nutriments dans l'eau et, par la suite, une prolifération néfaste d'algues et de plantes dans les lacs et les cours d'eau. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement, la pollution par l'azote est le troisième facteur principal de perte de biodiversité derrière la destruction des habitats et les émissions de gaz à effet de serre.

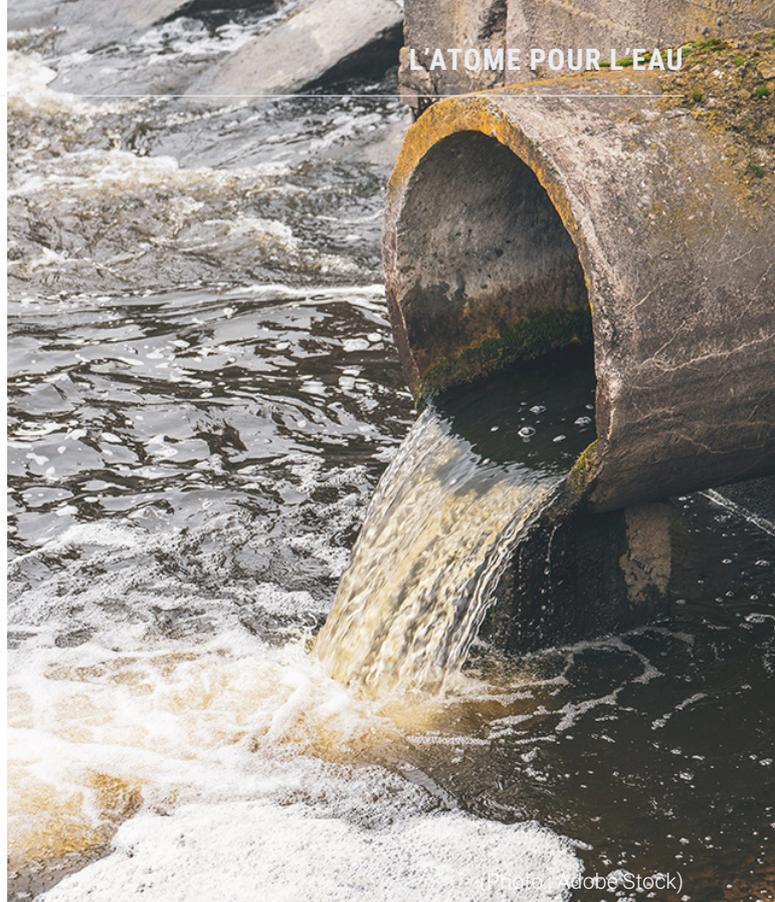
Les changements climatiques accentuent les effets de la pollution azotée. Compte tenu du réchauffement climatique de la Terre, le nombre de feux incontrôlés est en augmentation, ce qui mène à une utilisation accrue de produits ignifuges contenant de grandes quantités de composés chimiques à base d'azote qui s'infiltrent dans les sources. Par ailleurs, à mesure que la planète se réchauffe, la température des lacs et des cours d'eau augmente, favorisant ainsi la croissance de types de végétation susceptibles de nuire aux écosystèmes et à l'environnement. Des lacs plus chauds où prolifèrent les algues peuvent émettre de l'oxyde nitreux, un gaz à effet de serre, tandis que des lacs plus froids retirent l'azote du cycle de l'azote et le stockent pendant de longues périodes.

Comprendre la pollution azotée grâce à l'analyse isotopique

L'AIEA recourt à des techniques isotopiques pour déterminer les différentes sources de pollution azotée. Dans le cadre de

Sac plastique à usage unique flottant près d'un récif corallien à Bali. (Photo : N. Bertolt Jensen/Ocean Image Bank)





(Photo Adobe Stock)

ces activités de recherche, elle a collaboré avec l'Université du Massachusetts pour mettre au point des méthodes moins onéreuses, plus sûres et plus rapides visant à déterminer l'origine de la pollution azotée des cours d'eau, des lacs et des mers.

« Les techniques isotopiques employées pour les nitrates constituent un outil très intéressant, car elles nous aident à déterminer l'origine de la pollution par les nitrates et à comprendre comment l'azote est utilisé et transformé dans la nature », précise Ioannis Matiatos.

Grâce à son programme de coopération technique, l'AIEA aide les pays à renforcer leurs capacités en matière de techniques isotopiques pour étudier la pollution azotée partout où elle se produit, depuis les Alpes italiennes – où l'eau de fonte des glaciers s'écoule dans les lacs voisins – jusqu'à la mégalopole de Kolkata (Inde).

L'AIEA emploie également les techniques isotopiques et nucléaires pour aider les pays à mieux utiliser les engrais, à améliorer la capture du carbone et de l'azote dans les agroécosystèmes et à étudier la façon dont les cultures légumineuses ou des systèmes intégrés cultures-élevage contribuent à réduire les besoins en engrais chimiques.

Des composés chimiques qui suscitent de nouvelles inquiétudes

On détecte de plus en plus de polluants tels que des produits pharmaceutiques, des hormones, des produits chimiques industriels et des produits d'hygiène personnelle dans les systèmes d'eaux de surface. Ces polluants proviennent le plus souvent des eaux usées municipales, industrielles et domestiques. Connus sous la dénomination de « nouveaux composés chimiques préoccupants », ce n'est que récemment qu'ils ont été identifiés comme des menaces potentielles pour l'environnement et ils ne sont pas encore largement réglementés par les législations nationales ou internationales. Même si leurs effets sur l'eau douce ne sont pas encore bien compris, on pense qu'ils peuvent entraîner des perturbations hormonales, contribuer à la résistance aux antibiotiques chez les êtres humains et les animaux et avoir un impact négatif sur les écosystèmes aquatiques.

Cependant, l'étude des nouveaux composés chimiques préoccupants peut permettre de mieux comprendre quelles sont les sources de pollution par les nitrates, car celle-ci va de pair avec la présence de ces contaminants dans les systèmes hydrologiques pollués. L'AIEA travaille avec des scientifiques du monde entier pour déterminer l'origine et les trajectoires de la pollution par les nitrates dans les eaux de surface et les eaux souterraines en reliant les isotopes des nitrates à ces composés chimiques.

« Les nouveaux composés chimiques préoccupants sont des traceurs idéaux dans le cas d'une contamination fécale, car ils sont généralement liés à une source spécifique et

sont détectables dans des échantillons de l'environnement contaminés », explique Yuliya Vystavna, spécialiste en hydrologie isotopique à l'AIEA.

La technologie des rayonnements appliquée au traitement des eaux usées

Il est essentiel d'éliminer les micropolluants tels que les microplastiques, les contaminants organiques persistants et les produits pharmaceutiques des eaux usées pour obtenir une eau propre et préserver sa propreté. La technologie des rayonnements, notamment les faisceaux d'électrons et l'irradiation gamma, joue un rôle important dans le traitement d'un large éventail de polluants organiques présents dans les eaux usées et les boues d'épuration en décomposant ces molécules complexes en formes moins nocives ou plus faciles à éliminer.

Les microplastiques représentent un défi particulièrement difficile à relever, car ils résistent à la biodégradation et ont tendance à se fragmenter en particules encore plus petites.

Des microplastiques ont été retrouvés dans l'eau du robinet, l'eau en bouteille, l'air que nous respirons, les sédiments des cours d'eau et les sols. Ils contaminent les eaux souterraines et les eaux de surface et finissent par se retrouver dans l'océan. La surveillance de la pollution plastique exercée dans le cadre de l'initiative NUTEC Plastics (Technologie nucléaire au service de la lutte contre la pollution plastique) de l'AIEA a révélé la présence de microplastiques jusque dans les régions les plus intactes et les plus protégées de la planète, notamment les îles Galápagos et l'Antarctique.

Le recours à la technologie des faisceaux d'électrons pour le traitement des eaux usées est une solution prometteuse. Cette technologie permet d'agglomérer les microplastiques en paquets que l'on peut facilement éliminer des eaux usées. D'après des expériences menées récemment à l'Institut polonais de chimie et de technologie nucléaires, un centre collaborateur de l'AIEA dans le domaine de la technologie des rayonnements, 85 à 95 % des microplastiques peuvent être séparés des eaux usées par un traitement faisant appel à la technologie des faisceaux d'électrons.

« Les microplastiques sont difficiles à éliminer par les méthodes classiques de traitement de l'eau et des eaux usées », explique Bumsoo Han, spécialiste des rayonnements et consultant principal chez Bright Future Technologies (République de Corée). « Bien que les recherches n'en soient encore qu'à leurs débuts, les études en cours devraient grandement contribuer à lutter contre la pollution de notre environnement par les microplastiques. »

NUTEC Plastics : lutter contre la pollution plastique

L'initiative phare de l'AIEA, NUTEC Plastics, rassemble des pays et des partenaires du monde entier pour lutter contre la pollution plastique en tirant parti des technologies nucléaires afin d'améliorer la détection et l'identification des microplastiques et des nanoplastiques dans le milieu marin et de mettre au point des techniques efficaces de recyclage du plastique qui permettent de réduire la dépendance à l'égard des plastiques à base de combustibles fossiles. Le rayonnement peut être utilisé pour fabriquer des plastiques biosourcés qui constituent une solution plus durable que les plastiques conventionnels, car ils sont biodégradables et/ou sont conçus pour être faciles à recycler.

De nombreux pays souhaitent se diriger vers une économie plus durable du plastique. Lors de l'édition 2025 de la Conférence des Nations Unies sur les océans, pendant laquelle les participants se sont surtout intéressés aux négociations menées en vue de parvenir à un accord international juridiquement contraignant sur la pollution plastique, l'AIEA a mis en lumière le rôle de la science nucléaire dans la lutte contre ce type de pollution.

« La science nucléaire contribue à protéger nos océans et la vie sous-marine », a déclaré le Directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi, à la conférence. « Par l'intermédiaire de nos laboratoires de l'environnement marin à Monaco et de notre initiative NUTEC Plastics, nous aidons les pays à lutter contre la pollution plastique en apportant à plus de 100 laboratoires dans le monde l'équipement dont ils ont besoin pour surveiller les microplastiques. »

Près de 80 % de la pollution marine par le plastique provient de la terre ferme, et l'intensification des efforts visant à améliorer le recyclage et le traitement des déchets plastiques avant qu'ils n'aboutissent dans les décharges et les systèmes hydrologiques contribuerait à relever ce défi mondial croissant.

Des zones humides artificielles pour assainir les eaux usées provenant du secteur minier

Les zones humides naturelles, où la filtration de l'eau douce implique des processus physiques, géochimiques et biologiques à l'œuvre dans le sol, les sédiments et les plantes, se sont révélées efficaces pour piéger les polluants présents dans les eaux contaminées. Des zones humides artificielles, c'est-à-dire des systèmes aménagés où interviennent les mêmes processus naturels, sont déjà utilisés dans le monde entier pour traiter les eaux usées. Leur fonctionnement et leur entretien sont



généralement moins onéreux et nécessitent moins d'énergie que les systèmes classiques de traitement des déchets.

Les zones humides artificielles sont de plus en plus utilisées pour assainir les eaux contaminées par des sous-produits miniers, tels que les métaux lourds et autres éléments toxiques, qui peuvent subsister pendant des décennies après la cessation de l'exploitation minière et avoir des effets graves sur la santé humaine et les écosystèmes environnants.

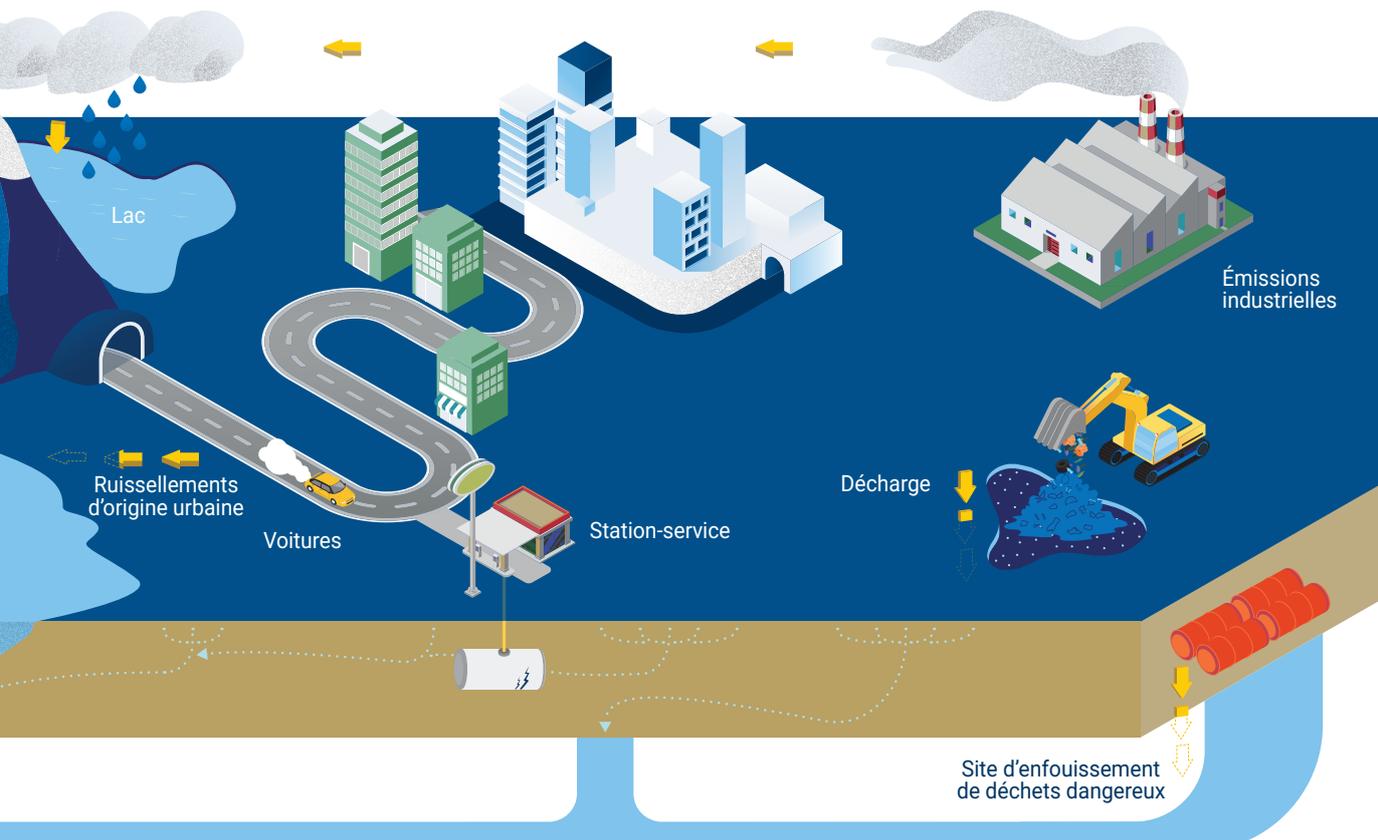
Des contaminants radioactifs naturels tels que le radon et le radium sont souvent présents dans les eaux usées issues des activités d'extraction de l'uranium. Selon Hannah Affum, experte en technologie industrielle à l'AIEA, « il existe des lacunes dans les travaux de recherche concernant l'efficacité avec laquelle les plantes et les sédiments parviennent à éliminer les contaminants radioactifs dans les zones humides artificielles ».

Pour combler ces lacunes, l'AIEA a lancé récemment un projet de recherche coordonnée afin d'étudier, à l'aide de radiotraceurs, la façon dont le sol, le gravier et les plantes des zones artificielles humides retirent et transforment les contaminants présents dans les eaux usées issues de l'extraction de l'uranium, du cuivre et de l'or. Étant donné que la capacité d'assainissement des zones humides artificielles peut diminuer au fil du temps, une étude de l'hydrodynamique des flux sera également menée dans le cadre du projet et des données seront collectées afin d'optimiser les futures conceptions de zones humides.

« En menant des recherches ciblées, nous pourrions acquérir des connaissances essentielles qui nous aideront à concevoir des systèmes durables et à améliorer la séquestration à long terme des contaminants », précise Hannah Affum.



Les polluants, de l'azote aux nouveaux composés chimiques préoccupants, en passant par les microplastiques et les métaux lourds, mettent de plus en plus à rude épreuve les systèmes hydrologiques dans le monde. La science nucléaire offre des solutions pour relever ce défi.



Remonter le cours de l'eau

Pourquoi est-ce important ?

Votre eau potable provient-elle des pluies fraîches qui tombent régulièrement près de votre ville ou d'une ancienne réserve d'eau souterraine d'un pays voisin qui est sur le point de s'épuiser ?

Il est essentiel de savoir d'où provient notre eau et si cette source est durable pour prévenir les pénuries soudaines et garantir un accès à long terme.

S'ils disposent des bonnes données, les communautés et les décideurs peuvent agir en connaissance de cause. L'**hydrologie isotopique** joue un rôle clé dans ce processus, en permettant aux scientifiques de retracer l'origine de l'eau et de savoir depuis combien de temps celle-ci circule depuis sa première chute sous forme de pluie. Cela nous aide à cartographier les déplacements de l'eau dans l'environnement et à évaluer la vitesse à laquelle les réserves essentielles d'eau souterraine s'épuisent.

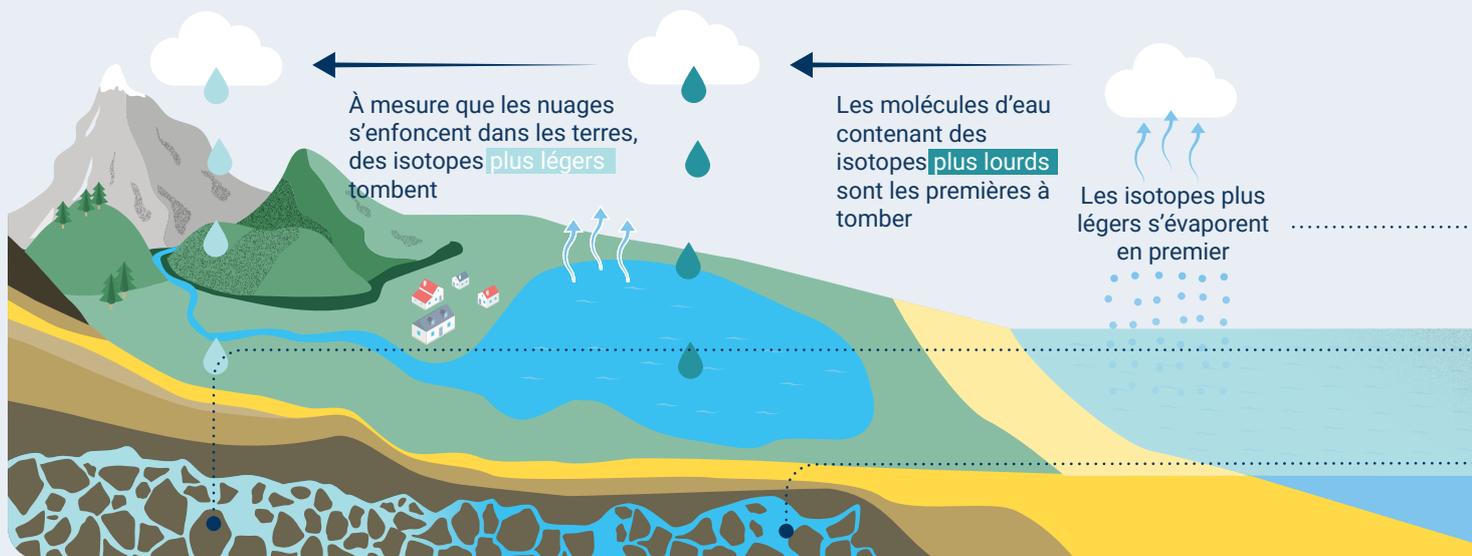
Ces informations sont capitales pour gérer durablement les ressources en eau et en prendre soin pour les générations futures.



Analyse des échantillons d'eau

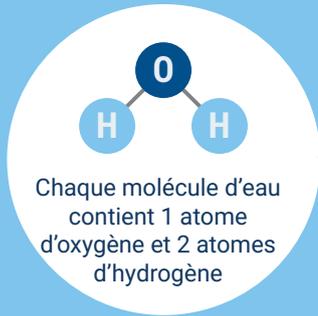
Chaque source d'eau possède une **empreinte isotopique** propre qui permet de connaître son origine, son âge, sa qualité et son taux de recharge.

L'AIEA et ses partenaires recueillent depuis plus de 60 ans des échantillons d'eau provenant de précipitations, de lacs, de cours d'eau, d'aquifères et d'autres sources du monde entier. Ces échantillons sont ensuite analysés à l'aide d'équipements de haute précision afin d'en déterminer la composition isotopique.



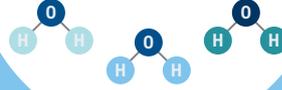
Infographie : G. Appolinario/AIEA

De quoi se compose une molécule d'eau ?

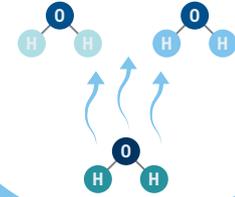


Les molécules d'eau ont différents isotopes :

certains sont **plus légers** et d'autres **plus lourds**



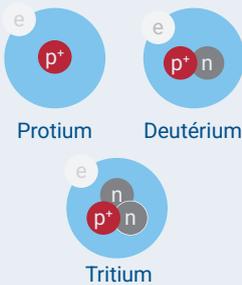
Ces différences s'expliquent par des processus physiques, comme l'**évaporation** et la **condensation**



Qu'est-ce qu'un isotope ?

On appelle « isotopes » les atomes qui possèdent le même nombre de protons (p) mais pas le même nombre de neutrons (n).

Prenons l'exemple des isotopes de l'hydrogène :



Il existe deux types d'isotopes : les isotopes stables et les isotopes instables.

Les **isotopes stables**, comme le protium et le deutérium, n'ont pas le même poids et restent constants dans le temps.



Les **isotopes instables**, comme le tritium, sont appelés **radio-isotopes**. Ils changent au fil du temps, ont des neutrons supplémentaires dans leur noyau et émettent des rayonnements, ce qui permet de les utiliser pour **dater l'eau**.

Origine de l'eau

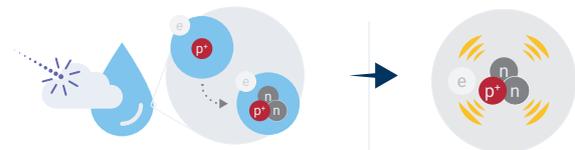
En mesurant la proportion d'isotopes lourds et d'isotopes légers dans l'eau de différentes sources, les scientifiques peuvent déterminer l'**origine et le parcours de l'eau**.

Recharge directe : les eaux souterraines et les précipitations ont la même empreinte isotopique.

Mélange : le lac est un mélange des isotopes présents dans la pluie et dans la rivière.

Interaction : les eaux souterraines ont la même empreinte isotopique que celle du lac.

Dater l'eau



Le **tritium** est produit lorsque des **rayons cosmiques** riches en neutrons provenant de l'atmosphère entrent en contact avec les nuages. L'**excès de neutrons** rend cet isotope **instable**.

Lorsque le tritium cherche à se stabiliser, il émet des **rayonnements** de faible intensité.



La décroissance radioactive se fait selon un schéma prévisible pour chaque élément.

L'analyse du niveau de radioactivité du tritium permet de dater cet isotope.

L'âge nous permet ensuite de savoir quand cette eau est tombée pour la dernière fois sur le sol sous forme de pluie.

La stratégie du Brésil pour protéger ses ressources en eau douce

Par Emma Atuhaire

Avec ses rivières et ses zones humides s'étendant sur l'ensemble du bassin de l'Amazone, le Brésil abrite 12 % des réserves mondiales d'eau douce. Pourtant, si abondante soit-elle, l'eau est un bien auquel tous n'ont pas accès. Les changements climatiques et l'activité humaine entament cette ressource naturelle, à telle enseigne que sa protection est devenue une priorité nationale, sachant que près de la moitié de la population brésilienne en dépend pour ses usages domestiques, pour l'agriculture et pour la production d'énergie.

Investir dans l'innovation scientifique

Alors que de nombreux pays en sont encore à utiliser des outils classiques tels que la mesure des précipitations ou des débits fluviaux pour surveiller leurs ressources en eau, le Service géologique du Brésil (SGB), centre collaborateur de l'AIEA depuis 2015, recourt, pour sa part, à des méthodes hydrologiques et géochimiques sophistiquées pour mieux comprendre les systèmes d'eau douce du pays, son objectif final étant d'améliorer la qualité de l'eau, l'accès équitable à cette ressource, son exploitation durable et sa préservation sur le long terme.

Le programme de l'AIEA consacré aux ressources en eau a aidé le SGB à définir les principales approches en matière d'hydrologie isotopique susceptibles de valoriser les stratégies de gestion de l'eau. Le SGB s'est doté d'un laboratoire d'hydrologie isotopique, pour lequel il a reçu du matériel spécialisé et a bénéficié d'une formation et d'un appui technique dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA. Jusqu'à une date récente, les scientifiques du SGB devaient envoyer les échantillons d'eau à analyser au Laboratoire d'hydrologie isotopique de l'AIEA, à Vienne. Grâce au spectromètre de masse à gaz portable dont la Suisse leur a fait don et à la formation qui leur sera dispensée par l'AIEA, les chercheurs du SGB pourront analyser des données isotopiques sur place lorsque le nouvel instrument sera installé. Il leur sera ainsi possible d'étudier les gaz rares dissous dans

Deux pêcheurs naviguent en canoë sur une rivière au Brésil.

(Photo : Adobe Stock)

les eaux souterraines, qui sont d'une importance capitale pour estimer l'âge, l'origine et le débit des sources et déterminer si elles sont renouvelables.

« Le travail de pionnier qui a ainsi été mené dans plusieurs domaines d'applications isotopiques et l'accroissement des capacités techniques et analytiques ont considérablement amélioré la compréhension de la dynamique de l'eau et, partant, la gestion des ressources hydriques », explique Roberto Kirchheim, chercheur au Centre de géosciences appliquées du SGB.

Le Brésil partage par ailleurs ses connaissances et son savoir-faire avec d'autres pays d'Amérique latine pour les aider à renforcer leurs systèmes de gestion de l'eau. Le SGB est prêt à œuvrer activement à la constitution d'un réseau régional de laboratoires dans le cadre du Réseau mondial des laboratoires d'analyse de l'eau de l'AIEA.

Faire face aux changements climatiques

Les changements climatiques mettent gravement en péril les ressources hydriques du Brésil. Selon un rapport de l'Agence nationale de l'eau et de l'assainissement publié en 2024, le pays pourrait voir ses ressources en eau diminuer de plus de 40 % dans certaines régions d'ici 2040.

Des scientifiques brésiliens participent à plusieurs projets de recherche coordonnée de l'AIEA qui font appel à l'hydrologie isotopique pour évaluer les incidences des changements climatiques sur la disponibilité de l'eau. L'un de ces projets a mis en évidence que l'Amazone était l'une des principales sources de précipitations pour le Brésil et l'Argentine, ce qui a amené ces deux pays à intensifier leurs efforts de préservation de la forêt pluviale.

Dans le cadre d'un autre projet de recherche coordonnée de l'AIEA, le Brésil a entrepris d'étudier les réactions des systèmes d'eau douce face aux contraintes générées par les changements climatiques et l'activité humaine afin de mieux préparer le pays aux effets de l'évolution du climat. Les données obtenues viendront éclairer les débats sur la gestion des eaux souterraines dans les différents États du pays et au niveau



fédéral, et permettront aux autorités de prendre des décisions reposant sur des observations scientifiques.

Des stratégies axées sur une agriculture intelligente face au climat pour renforcer la résilience hydrique

L'agriculture, secteur d'activité vital pour le Brésil, a elle aussi de graves répercussions sur les ressources en eau du pays. Bien souvent, l'extraction des eaux souterraines à des fins d'irrigation atteint des volumes supérieurs à leur reconstitution naturelle, ce qui complique la gestion à long terme des ressources en eau.

Pour s'attaquer à ce problème, le Brésil a pris part à un projet de recherche coordonné de l'AIEA consistant à appliquer des techniques isotopiques pour déterminer les sources d'eau utilisées dans les systèmes d'irrigation. Grâce aux orientations scientifiques et au travail de coordination fournis par l'AIEA, le Brésil a pu répertorier ces sources, estimer la vitesse à laquelle elles se reconstituaient naturellement et prévoir leur disponibilité future.

Les informations ainsi acquises ont aidé le Brésil à réduire la surexploitation des ressources en eau, à optimiser leur répartition et à promouvoir des pratiques d'agriculture intelligente face au climat.

Protéger l'aquifère Guarani

D'une superficie de plus de 1,2 million de kilomètres carrés répartis sur quatre pays – le Brésil, l'Argentine, le Paraguay et l'Uruguay –, l'aquifère Guarani, deuxième plus grand système aquifère transfrontière au monde, renferme plus de 37 000 kilomètres cubes d'eau douce. Il revêt une importance particulière pour le Brésil, dans la mesure où il assure l'approvisionnement en eau de plus de 14 millions d'habitants.

L'accroissement des besoins en eau, l'absence de réglementation quant à son utilisation et la pollution hydrique suscitent de sérieuses inquiétudes pour l'avenir de l'aquifère. Jusqu'à une époque récente, les quatre pays qui se le partagent ne disposaient pas de données leur permettant d'évaluer à quel point il était affecté par l'activité humaine et de déterminer comment le gérer durablement. Grâce à l'appui que leur a apporté le programme de l'AIEA consacré aux ressources en eau et à la faveur du transfert de technologie dont ils ont bénéficié dans le cadre du programme de coopération technique de l'Agence, les scientifiques ont pu faire appel à l'hydrologie isotopique pour étudier la recharge de l'aquifère, la qualité de son eau et les risques de contamination auxquels il est exposé. Forts de ces connaissances, les quatre pays ont élaboré des stratégies communes afin de gérer et protéger l'aquifère Guarani pour les générations à venir.



Un chercheur du SGB, spécialiste de l'hydrogéologie, prélève un échantillon à des fins d'analyse isotopique sur une partie de l'aquifère de Guarani dans le sud du Brésil. (Photo : R. Kircheim/SGB)

« Le soutien constant de l'AIEA a donné au Brésil la possibilité de générer des ensembles inédits de données sur les précipitations, les rivières, les zones humides et les aquifères profonds, dont beaucoup sont situés dans des régions concernant lesquelles les données sont rares », souligne Isadora Aumond Kuhn, coordonnatrice du Programme national mené au SGB sur les applications d'hydrologie isotopique. « Cela a non seulement permis de remédier à d'importantes lacunes scientifiques, mais aussi de renforcer la collaboration régionale en Amérique du Sud. »

En route pour la COP30

Le fait que le Brésil se prépare à accueillir la 30^e Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP30) en novembre 2025 confère au pays une position privilégiée pour ouvrir le débat sur l'urgence qu'il y a à mettre en place une gouvernance de l'eau face aux changements climatiques et pour faire part de l'expérience qui est la sienne en matière de sciences nucléaires et de coopération internationale afin que des décisions éclairées et fondées sur des données puissent être prises. L'AIEA, qui a œuvré en faveur de l'inscription des solutions nucléaires à l'ordre du jour de la COP, expliquera lors de la COP30 ce que ces solutions peuvent apporter aux stratégies d'atténuation et d'adaptation – par exemple, comment la science et la technologie nucléaires peuvent aider à améliorer la résilience des systèmes d'approvisionnement en eau.

Des scientifiques étudient les « rivières invisibles » pour gérer les conditions météorologiques extrêmes et les pénuries d'eau

Par Katrina Vargas

De même que les fleuves traversent les terres, faisant vivre les populations, la faune et la flore et offrant des moyens de subsistance, des « rivières invisibles » coulent au-dessus de nous, charriant plus de vapeur d'eau que tous les fleuves de la Terre réunis. Ces autoroutes humides, connues sous le nom de rivières atmosphériques, influent considérablement sur la météo et les régimes pluviométriques à l'échelle mondiale.

Les changements climatiques et les activités humaines altèrent le comportement des rivières atmosphériques, modifient leur trajectoire et provoquent des phénomènes météorologiques extrêmes tels que des inondations, des tempêtes et des sécheresses. L'étude des isotopes présents dans ce type de rivières peut nous aider à les comprendre et à les suivre, pour améliorer les prévisions météorologiques et les prévisions d'événements météorologiques extrêmes.

Qu'est-ce qu'une rivière atmosphérique ?

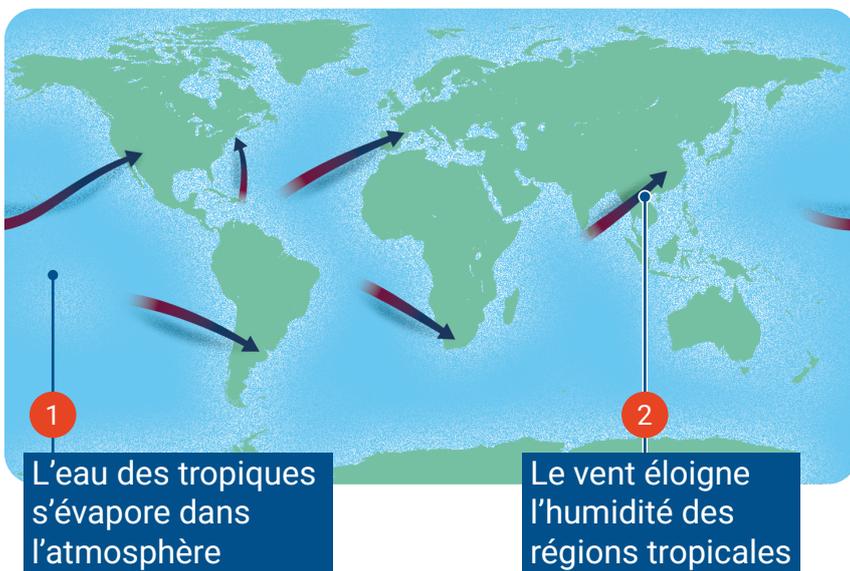
Une rivière atmosphérique est une bande naturelle de vapeur d'eau concentrée, longue de plusieurs milliers de kilomètres, qui traverse l'atmosphère terrestre. Elle se forme lorsque la chaleur intense du soleil provoque l'évaporation des océans le long de l'Équateur. Les vents transportent la vapeur d'eau

vers les pôles, créant des sortes de rivières dans le ciel, situées généralement à un maximum de 3 000 mètres au-dessus du sol, soit environ un tiers de la hauteur du mont Everest. Lorsqu'elles atteignent les côtes, ces rivières atmosphériques sont poussées vers les hauteurs et, à l'approche des montagnes, libèrent de l'humidité sous forme de pluie et de neige.

Les rivières atmosphériques fournissent une eau douce vitale à de nombreuses régions du monde, en particulier les régions côtières. En Californie, sur la côte ouest des États-Unis d'Amérique, les rivières atmosphériques représentent environ la moitié des précipitations annuelles, remplissant les réservoirs et aidant les agriculteurs. Elles représentent également entre 30 et 60 % des précipitations annuelles sur la côte est de la Chine, le littoral de la péninsule coréenne et la côte ouest du Japon.

Pression induite par les changements climatiques

À mesure que les températures mondiales augmentent, l'humidité s'accumule dans l'atmosphère, et les rivières atmosphériques créent des précipitations plus intenses et plus fréquentes. Ce phénomène est responsable de plus de 80 % des



Infographie : G. Appolinario/AIEA

3 Lorsque la vapeur d'eau atteint les côtes, elle s'élève au-dessus des montagnes et se refroidit

fortes pluies dans de nombreuses régions côtières d'Asie de l'Est.

« Plus le climat se réchauffe, plus les événements météorologiques extrêmes gagnent en intensité, et beaucoup ont pour origine les rivières atmosphériques », explique Julie Kalansky, directrice adjointe du Centre d'étude des phénomènes météorologiques et hydrologiques extrêmes à la Scripps Institution of Oceanography.

Dans le même temps, les rivières atmosphériques s'éloignent de l'Équateur et se dirigent vers les pôles. Elles sont de moins en moins fréquentes dans les régions subtropicales, qui sont maintenant confrontées à une réduction de l'approvisionnement en eau et à la sécheresse, tandis que des endroits comme le Pacifique Nord-Ouest, l'Europe et l'Arctique connaissent davantage de précipitations et d'inondations.

Le rôle des isotopes

« Les caractéristiques des rivières atmosphériques varient beaucoup d'une année à l'autre, ce qui signifie qu'il est difficile de prédire la quantité de pluie que nous aurons chaque année, explique Julie Kalansky. Cette imprévisibilité des précipitations saisonnières complique considérablement la gestion des ressources en eau. »

Les scientifiques utilisent des isotopes stables, soit des formes non radioactives d'atomes, pour étudier les effets des changements climatiques sur les rivières atmosphériques. Ces techniques permettent de déterminer l'origine de la vapeur d'eau, la distance qu'elle a parcourue dans l'atmosphère, l'emplacement de sa chute sous forme de précipitations et son interaction avec le cycle de l'eau – autant d'informations qui peuvent être utilisées pour anticiper les phénomènes météorologiques extrêmes et en atténuer les conséquences,

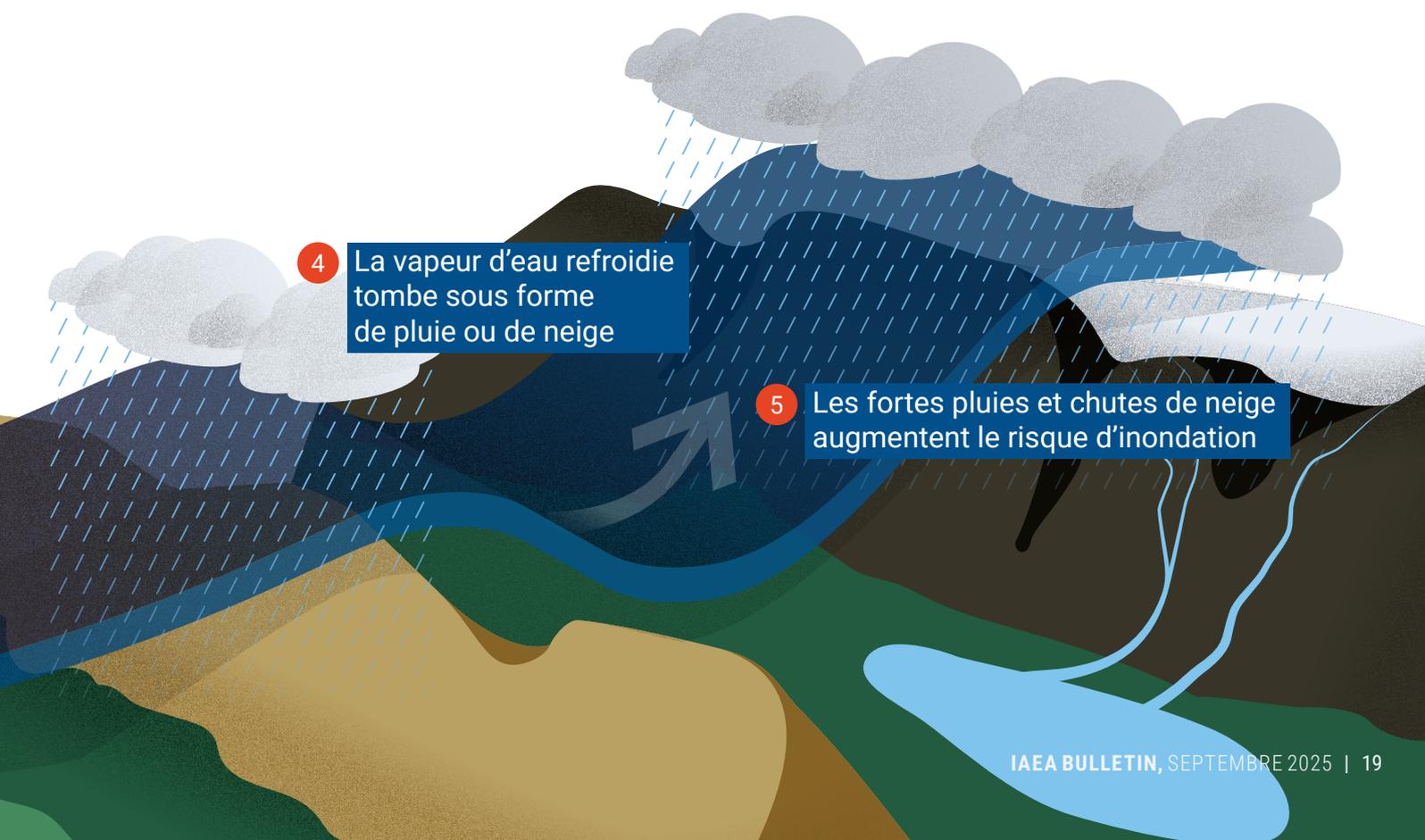
déterminer les risques d'inondation et gérer les ressources en eau, en particulier pendant les sécheresses.

Un nouveau projet de recherche coordonné de l'AIEA associe des traceurs isotopiques à des modèles hydrologiques et climatiques pour suivre et simuler les mouvements et les changements des différentes formes d'eau au cours de leur cycle.

« Les données que nous recueillerons dans le cadre de ce projet de recherche pourront aider à gérer les risques croissants d'inondation, de sécheresse et de pénurie d'eau », explique Jodie Miller, cheffe de la Section de l'hydrologie isotopique à l'AIEA. « Elles peuvent aussi être utiles aux pays qui souhaitent élaborer des stratégies pour atténuer les risques, améliorer la gestion de l'eau et favoriser la résilience climatique. »

« Nous utilisons les données sur les isotopes de la vapeur d'eau pour gagner en précision dans les prévisions météorologiques », indique Kei Yoshimura, professeur à l'Institut des sciences industrielles de l'Université de Tokyo, qui participe au projet. « Particulièrement utiles aux latitudes moyennes, les données isotopiques aideront à mieux anticiper le trajet de l'humidité et les régimes pluviométriques liés aux rivières atmosphériques. »

Le projet s'appuie sur les données concernant les précipitations que recueille depuis plus de 65 ans le Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP) via plus de 1 000 stations de surveillance dans le monde. Les données du GNIP peuvent servir à analyser l'origine, les trajectoires et les régimes de précipitations des rivières atmosphériques et aider à mieux comprendre comment ces paramètres évoluent avec le réchauffement climatique.



Repenser l'irrigation

Améliorer l'utilisation de l'eau grâce à la science nucléaire

Par Monika Shifotoka



Un agriculteur utilise un humidimètre à neutrons de rayons cosmiques pour surveiller les niveaux d'eau dans le sol. Les données sur l'humidité recueillies par l'appareil s'affichent sur le smartphone au premier plan. (Photo : M. Casling/AIEA)

L'agriculture est le premier secteur consommateur d'eau au monde, ce qui représente en moyenne 70 % de l'eau douce prélevée dans les lacs, les cours d'eau et les aquifères de la planète. Ce secteur d'activité exerce une pression énorme sur les ressources en eau, ce qui met en péril leur gestion à long terme, pourtant essentielle à la santé des populations, de l'environnement et des économies dans le monde entier.

« Du fait de la pression accrue qui s'exerce sur les ressources en eau, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau dans l'agriculture n'est plus une simple option à envisager mais bien une nécessité », affirme Mohammad Zaman, chef de la Section de la gestion des sols et de l'eau et de la nutrition des plantes à l'AIEA. « Des solutions fondées sur la science aident les agriculteurs à utiliser chaque goutte avec parcimonie tout en préservant la productivité et la durabilité. »

Les innovations reposant sur la science nucléaire et des technologies connexes aident les agriculteurs à adopter des pratiques d'agriculture intelligente face au climat qui permettent d'économiser l'eau, d'accroître le rendement des cultures et de renforcer la résilience face aux changements climatiques.

Grâce au Centre mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture (Centre mixte), l'AIEA fournit des outils et des conseils aux agriculteurs des régions où l'eau est rare pour une irrigation plus intelligente. Ils sont ainsi en mesure d'évaluer la disponibilité de l'eau, sa circulation dans le sol et son absorption par les récoltes, ce qui permet une utilisation plus efficace.

Promouvoir des pratiques d'irrigation efficaces

Composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, l'eau contient des isotopes naturels (atomes d'un même élément mais dont le nombre de neutrons diffère), qui sont facilement traçables. Les techniques faisant appel aux isotopes de l'oxygène aident les scientifiques à comprendre comment les plantes utilisent l'eau. En analysant les isotopes de l'eau qui se trouve dans le sol et à l'intérieur des plantes, les chercheurs peuvent déterminer les sources d'eau dont les plantes dépendent, la quantité qu'elles utilisent, la quantité qui disparaît par évaporation et celle qui s'infiltre dans le sol. La compréhension de ces processus permet aux spécialistes de faire des recommandations quant aux meilleurs programmes d'irrigation à adopter, aux types de récoltes qui conviennent et aux pratiques agricoles améliorées qu'il convient d'appliquer afin de préserver l'eau et d'accroître les rendements. Ce type d'informations est particulièrement utile dans les régions touchées par la sécheresse ou par une pénurie d'eau.

Les techniques d'agriculture intelligente face au climat aident les agriculteurs à optimiser l'utilisation de l'eau et à améliorer l'état du sol, ce qui assure la pérennité de la production agricole. Le programme de coopération technique de l'AIEA favorise l'adoption de ces techniques dans des pays qui connaissent des problèmes d'approvisionnement en eau en Afrique et en Asie, dont la Namibie et le Soudan.

Irrigation au goutte-à-goutte et préservation des ressources en eau au Soudan

Les changements climatiques rendent les conditions météorologiques imprévisibles au Soudan : les saisons sèches et l'irrégularité des précipitations entraînent des pénuries d'eau, de mauvaises récoltes et une insécurité alimentaire.

Au Soudan, l'AIEA a aidé des centaines d'agricultrices de la région de Kassala à produire plus de denrées alimentaires en utilisant moins d'eau, et ce, en recourant à des systèmes améliorés d'irrigation au goutte-à-goutte grâce à une initiative pilote menée dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA. Ces systèmes peu coûteux, faciles à installer et simples à utiliser distribuent l'eau directement à la racine des plantes, ce qui limite le gaspillage. Ils ont permis aux agricultrices soudanaises de réduire jusqu'à 70 % leur utilisation d'eau tout en augmentant de plus de 40 % le rendement des récoltes. « Grâce à ce projet, nous avons constaté

des améliorations mesurables dans l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau », dit Ahmed Babiker Khalifa, spécialiste de la gestion de l'eau à la Société soudanaise de recherche agricole. « En utilisant à la fois l'irrigation au goutte-à-goutte et les données issues des techniques nucléaires, nous sommes en mesure d'apporter la juste quantité d'eau. Il s'agit là d'une solution agricole pratique dans des régions où l'eau fait défaut. »

Le succès rencontré a favorisé l'adoption de cette technologie au Soudan et ailleurs, a permis aux femmes de gagner en autonomie et a aidé les communautés à s'adapter aux défis climatiques tout en améliorant la sécurité alimentaire.

Des humidimètres à neutrons de rayons cosmiques pour améliorer les récoltes en Namibie

La Namibie est l'un des pays les plus secs de l'Afrique : 92 % de son territoire est classé comme aride ou semi-aride. Ces dernières années, la Namibie a connu des précipitations irrégulières, des inondations et de graves sécheresses dues aux changements climatiques, ce qui a participé aux graves pénuries alimentaires.

Depuis 2020, par l'intermédiaire du Centre mixte, l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) forment les agriculteurs du nord de la Namibie à arroser leurs champs plus efficacement. Les agriculteurs se servent des informations issues de l'association de plusieurs techniques nucléaires, par exemple des humidimètres à neutrons de rayons cosmiques, et des technologies d'irrigation permettant d'économiser l'eau, notamment l'irrigation au goutte-à-goutte et la collecte des eaux de pluie.

Grâce aux données sur l'humidité des sols recueillies en temps réel par des humidimètres à neutrons de rayons cosmiques et aux techniques connexes, les agriculteurs peuvent évaluer la teneur en eau dans les sols. Le système d'irrigation au goutte-à-goutte les aide à distribuer des quantités précises d'eau en fonction des besoins des végétaux.

Dans le cadre d'un projet de coopération technique de l'AIEA, des agriculteurs ont pu tirer parti de ces technologies pour réduire leur utilisation d'eau de 80 %. En outre, les rendements de certaines cultures (maïs, tomates et poivrons, par exemple) ont été améliorés de près de 70 %.

« L'intégration des techniques nucléaires aux pratiques d'irrigation intelligentes pourrait révolutionner l'aide aux agriculteurs », déclare Maliata Athon Wanga, responsable scientifique agricole au Ministère namibien de l'agriculture, de l'eau et de la réforme agraire. « Les humidimètres à neutrons de rayons cosmiques permettent de prendre des décisions fondées sur des données qui améliorent directement l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ce qui renforce la sécurité alimentaire et la résilience climatique de notre population. »

Les systèmes avancés d'irrigation au goutte-à-goutte permettent aux agriculteurs d'optimiser leur utilisation de l'eau, d'éviter le gaspillage et d'améliorer le rendement des cultures. (Photo : N. Jawerth/AIEA)



Décoder l'eau :

des outils perfectionnés pour comprendre les ressources en eau

Par Thomas Perrouy

Fonte des glaciers, régimes de précipitations ou taux d'évaporation : les spécialistes en hydrologie isotopique de l'AIEA recueillent, analysent et partagent des données pour mieux comprendre la provenance, l'historique et les mouvements de l'eau. De nouveaux outils et de nouvelles méthodes permettent aux chercheurs d'analyser les données sur l'eau avec plus de précision que jamais, fournissant des informations cruciales pour la gestion efficace des ressources en eau, la modélisation climatique et l'élaboration de politiques environnementales.

« Les données sur l'eau permettent de mener une politique intelligente et d'effectuer des investissements en connaissance de cause », affirme Celeste Saulo, Secrétaire générale de l'Organisation météorologique mondiale. « Sans données, nous tâtonnons. Les systèmes d'alerte rapide pour les inondations et les sécheresses, ainsi que la conception d'infrastructures hydrauliques telles que les réservoirs, les systèmes d'irrigation et les systèmes de drainage nécessitent des données. L'hydrologie isotopique ajoute une perspective unique en remontant aux sources d'eau et aux trajectoires d'écoulement pour nous aider à gérer durablement les ressources hydriques partagées. »

Intelligence artificielle

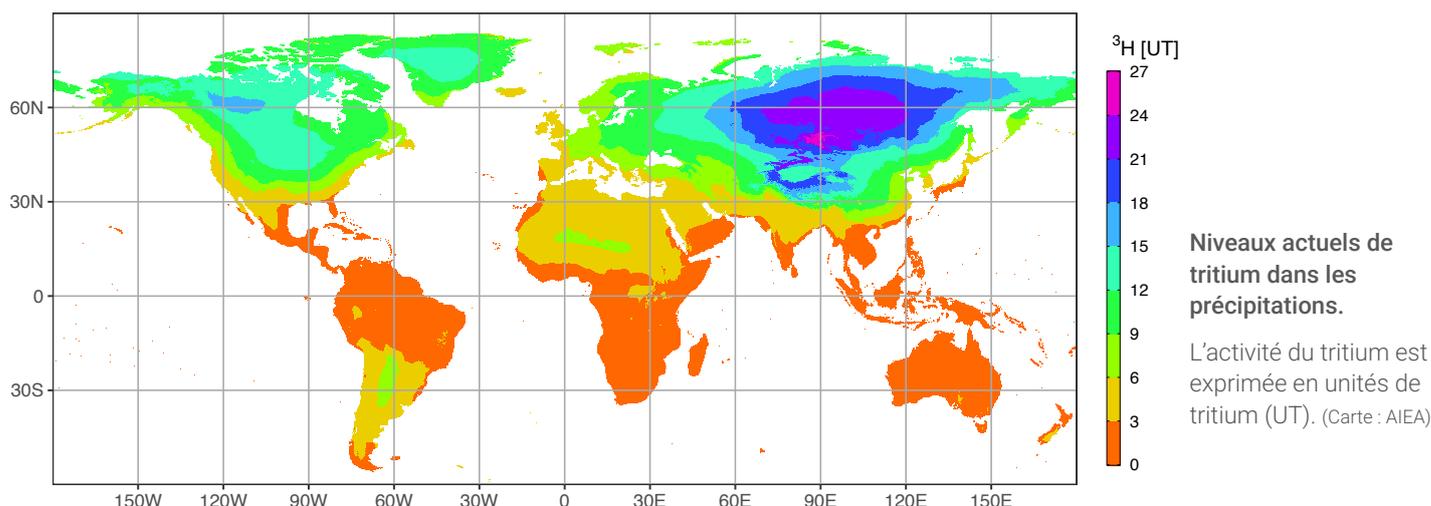
À mesure que les réseaux mondiaux de données sur l'eau s'étendent, l'hydrologie isotopique se fait rapidement une place dans le domaine des mégadonnées. L'intelligence artificielle (IA) et les modèles d'apprentissage automatique ouvrent de nouvelles perspectives de recherche sur l'eau en améliorant les prévisions et comblant les lacunes des données.

Selon une analyse récente de l'AIEA, de nombreux lacs dans le monde ne peuvent compenser l'évaporation et risquent de disparaître avec le temps. (Photo : Y. Vystavna/AIEA)

Il ressort d'une étude de l'AIEA, dans laquelle l'IA a été utilisée pour analyser les données isotopiques de 1 257 lacs de 91 pays, qu'environ 20 % de leur afflux d'eau disparaît par évaporation et que, dans environ 10 % des cas, leurs pertes d'évaporation sont extrêmes, dépassant 40 % de l'afflux total. Cela signifie que de nombreux lacs ne peuvent pas compenser l'évaporation et risquent de disparaître avec le temps. « Nous avons utilisé l'intelligence artificielle pour déterminer les principaux facteurs d'évaporation », explique Yuliya Vystavna, spécialiste en hydrologie isotopique à l'AIEA et première autrice de cette étude. « Divers facteurs influent sur l'évaporation selon que le climat est tropical, aride, tempéré, continental ou froid. » L'étude a utilisé des modèles d'intelligence artificielle pour déterminer quels lacs risquaient le plus de disparaître.

Une autre étude de l'AIEA a utilisé des modèles d'apprentissage automatique pour déterminer les facteurs qui influent sur la dynamique de l'eau et estimer la part d'eau jeune (moins de trois mois) dans 45 bassins fluviaux dans le monde. La part d'eau jeune indique comment l'eau est stockée et libérée dans l'environnement, mettant en évidence les schémas de rétention et d'écoulement. Ces données aident à mieux comprendre comment les rivières réagissent aux changements du climat et du sol, permettant aux populations de mieux se préparer aux inondations et aux sécheresses et de gérer plus efficacement leurs ressources en eau. « En comprenant ces dynamiques, nous pouvons mieux nous adapter aux défis posés par les changements climatiques et l'évolution des modes d'utilisation des sols, et faire en sorte que les cours d'eau continuent à fournir leurs services essentiels aux écosystèmes et aux sociétés humaines », indique





Tzanka Kokalova-Wheldon, directrice de la Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA.

Les experts estiment que l'utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique afin d'analyser les données sur l'eau pourrait améliorer considérablement les processus décisionnels en matière de gestion durable de l'eau. Pour appuyer cette démarche, l'AIEA, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture et le Centre international de physique théorique ont récemment mis au point un cadre d'intégration de l'IA aux données hydrologiques et isotopiques.

Cartographie à haute résolution du tritium

Le tritium, isotope radioactif naturel de l'hydrogène présent dans l'eau et ayant une période d'environ 12,3 ans, est un élément précieux pour déceler les eaux souterraines dont la recharge est récente et évaluer leur vulnérabilité à la pollution. En cartographiant les endroits où cet isotope de l'hydrogène apparaît dans la pluie et dans la neige, les chercheurs peuvent se faire une idée des mouvements récents de l'eau et de ses sources. En utilisant des données des dix dernières années, l'AIEA a dressé des cartes de la répartition du tritium dans les précipitations pour optimiser l'échantillonnage, repérer les lacunes des données atmosphériques et appuyer la recherche sur la vulnérabilité des aquifères.

Les scientifiques utilisent les cartes pour comparer les niveaux de tritium dans les précipitations et dans les eaux souterraines afin de comprendre à quelle vitesse les précipitations atteignent les aquifères et interagissent avec eux. Si le niveau de tritium des eaux souterraines correspond étroitement à celui des précipitations, cela peut être le signe d'une recharge rapide, ce qui signifie que l'aquifère est bien alimenté mais aussi sensible à la pollution, car les polluants peuvent facilement suivre le même chemin. Si les eaux souterraines contiennent beaucoup moins de tritium que les précipitations locales, cela peut indiquer que l'eau a été stockée en toute sécurité sous

terre et protégée de la contamination pendant des décennies, voire plus longtemps.

Spectrométrie laser de l'oxyde nitreux

La spectrométrie laser de l'oxyde nitreux est une nouvelle technique qui fournit des mesures très précises des isotopes liés au cycle de l'azote (mouvement de l'azote entre l'air, le sol, l'eau et les organismes), pouvant être utilisées pour retrouver l'origine des sources de pollution. Comme les différentes sources d'azote (combustion de combustibles fossiles, émissions agricoles ou processus naturels) se distinguent par leur signature isotopique, les scientifiques peuvent déterminer si les sources de contamination sont d'origine humaine ou naturelle. En Inde, par exemple, où l'utilisation d'engrais a triplé en 30 ans, les scientifiques de l'AIEA ont utilisé cette technique pour étudier l'impact de l'agriculture sur les systèmes hydrologiques. Ils ont constaté que la pollution par les nitrates atteignait son apogée pendant la mousson, lorsque de fortes pluies entraînent les engrais dans les rivières et les lacs, dégradant la qualité de l'eau. En suivant le parcours des isotopes, les scientifiques peuvent déterminer d'où vient la pollution, ce qui peut encourager les agriculteurs et les gouvernements à adopter des pratiques plus propres pour améliorer la qualité de l'eau et de l'air.

Alors que les capacités technologiques et les méthodes de collecte de données continuent de progresser, l'AIEA étudie activement de nouveaux outils et de nouveaux moyens d'analyse des données sur l'eau afin de contribuer aux stratégies de gestion durable de l'eau. « En combinant une technologie de pointe avec des données sur l'eau recueillies dans le monde entier pendant des décennies, nous ne nous contentons pas d'étudier l'eau, nous donnons aux pays les moyens de prendre des décisions éclairées concernant leur ressource la plus précieuse », dit Stefan Terzer-Wassmuth, expert en données géospatiales à l'AIEA.

L'effet cascade de la coopération transfrontière dans le domaine de l'eau en Europe du Sud-Est

Par Mary Albon

La Bosnie-Herzégovine et le Monténégro font partie du karst d'Europe du Sud-Est, une région formée d'impressionnantes montagnes calcaires et d'innombrables grottes, dolines, sources et cours d'eau souterrains qui s'étire le long de la côte adriatique.

Le karst est un environnement géologique complexe façonné par l'eau, qui corrode et dissout la pierre tendre. Le calcaire étant poreux, les eaux de surface ne s'accumulent pas dans les paysages karstiques, mais s'infiltrent dans la roche pour former des aquifères.

La Bosnie-Herzégovine et le Monténégro se partagent l'aquifère karstique d'Okolo-Bijela Gora, qui se situe à cheval sur la frontière entre les deux pays, sur une superficie d'environ 1 800 kilomètres carrés. Les aquifères karstiques sont essentiels à la préservation de l'environnement naturel et représentent une source importante d'eau potable et d'eau destinée à des usages agricoles et industriels ainsi qu'à la production d'électricité. Plus d'un quart de la population mondiale dépend de l'eau provenant des aquifères karstiques. Toutefois, la porosité de ces derniers expose ces ressources hydriques à des risques de contamination et aux effets des changements climatiques.

Utiliser les isotopes pour percer les mystères des aquifères karstiques

Jusqu'il y a peu, ni la Bosnie-Herzégovine ni le Monténégro ne connaissaient véritablement les caractéristiques hydrologiques de leur aquifère. En 2020, ils ont l'un comme l'autre rejoint 25 autres pays d'Europe et d'Asie centrale pour participer à un projet régional de coopération technique de l'AIEA visant à étudier les incidences des changements climatiques sur les ressources en eaux souterraines. L'objectif de ce projet était de former des spécialistes de l'eau aux techniques les plus récentes d'échantillonnage et d'analyse de l'eau, de calcul des taux de recharge et de mise au point de modèles pour les cycles de l'eau dans la région. Des bourses, des visites scientifiques et une réunion régionale ont permis aux participants d'approfondir leur connaissance des scénarios de changements climatiques et de constituer un réseau régional d'experts possédant les compétences et le matériel nécessaires pour surveiller et évaluer les ressources en eau en faisant appel à l'hydrologie isotopique.

Des hydrologues de Bosnie-Herzégovine et du Monténégro ont collaboré à l'élaboration du premier modèle conceptuel de l'aquifère karstique d'Okolo-Bijela Gora. L'AIEA a fait parvenir le matériel et les fournitures nécessaires pour le travail de terrain et les analyses de laboratoire, et a dispensé des formations à l'analyse isotopique. Les scientifiques ont prélevé des échantillons de précipitations, d'eaux souterraines et d'eaux

de surface, et ont mis à profit leurs nouvelles compétences en matière d'analyse isotopique pour étudier les facteurs influant sur la pérennité de l'aquifère, notamment en tant que source d'eau potable et de moyen de production d'énergie hydraulique.

En combinant ces résultats avec des données hydrologiques et météorologiques historiques, les chercheurs ont déterminé les conditions de recharge de l'aquifère. Forts de ces nouvelles connaissances, ils ont élaboré des modèles et des cartes permettant de répertorier les zones de recharge des eaux souterraines et ont étudié l'influence des eaux de surface sur le cycle hydrogéologique de l'aquifère. Ces informations constituent l'ébauche d'une politique de gestion des ressources en eau qui pourrait aider les deux pays à protéger leur aquifère commun.

« La réalisation de ce projet a permis de définir une orientation claire pour de futurs travaux en matière de gestion des ressources en eau et des changements climatiques », indique Uroš Jurošević, chef du Département des systèmes d'information géographique au Service géologique de la Republika Srpska en Bosnie-Herzégovine.

Ce projet est le premier à avoir eu recours à des techniques isotopiques pour étudier la gestion transfrontière des eaux souterraines et des eaux de surface dans la région. Il a montré que l'hydrologie isotopique était un outil très utile pour l'étude des aquifères karstiques.

« La collaboration avec des collègues de la région renforce la compréhension mutuelle et favorise la gestion durable de ce système karstique vulnérable », souligne pour sa part Dragan Radojević, chef du Département d'hydrogéologie et d'études géotechniques du Service géologique du Monténégro.

Coopérer par-delà les frontières

Plus de 150 pays partagent des ressources hydriques transfrontières, ce qui représente 60 % des flux mondiaux d'eau douce.

L'expérience de la Bosnie-Herzégovine et du Monténégro, ainsi que d'autres participants au projet de l'AIEA, témoigne de ce que, face aux changements climatiques, la coopération régionale est d'une importance fondamentale pour la résilience et la pérennité des systèmes hydrologiques transfrontières.

« La coopération dans le domaine des ressources hydriques partagées peut améliorer la gestion de l'eau. Elle peut



Prélèvement d'échantillons d'eau dans une source temporaire alimentée par l'aquifère karstique d'Okò-Bijela Gora. (Photo : B. Jolović)

également ouvrir la voie à une coopération dans d'autres secteurs et contribuer à l'intégration régionale », estime Najat Mokhtar, Directrice générale adjointe chargée des sciences et des applications nucléaires à l'AIEA.

La Bosnie-Herzégovine et le Monténégro poursuivent leurs travaux communs sur l'aquifère karstique d'Okò-Bijela Gora dans le cadre d'un nouveau projet régional de coopération technique de l'AIEA visant à renforcer les capacités nationales en matière d'hydrologie isotopique et à encourager une gestion de l'eau fondée sur des données factuelles.

« Notre objectif est de passer de la connaissance scientifique à des politiques concrètes axées sur une meilleure gestion de l'eau, ce qui est primordial s'agissant de ressources hydriques partagées et compte tenu des changements climatiques », déclare Sibel Unlu, responsable de la gestion du programme de coopération technique de l'AIEA. « Le fait d'améliorer la gestion des eaux transfrontières permet de mieux gérer les ressources en eau. »

Des solutions nucléaires et isotopiques face à la pénurie d'eau

Gros plan sur l'Afrique et l'Asie de l'Est

Par Joelle Matta



Des échantillons d'eau douce souterraine prélevés dans l'aquifère du nord du Koweït sont recueillis en vue d'analyses isotopiques par l'Institut koweïtien de recherche scientifique (KISR). (Photo : KISR)

Dans le nord aride du Koweït, des scientifiques font descendre un tube d'échantillonnage dans un puits sec pour atteindre la nappe phréatique peu profonde qui se trouve au fond. L'eau, cachée sous terre depuis des milliers d'années, est analysée dans le cadre d'un projet de recherche de l'AIEA sur les ressources en eau douce naturelle limitées du pays. À l'aide de techniques d'analyse isotopique, l'équipe cherche à savoir comment les niveaux de dioxyde de carbone affectent les eaux de pluie et les eaux souterraines et à mieux comprendre les variations de la qualité de l'eau.

Les eaux souterraines sont une ressource rare dans de nombreuses régions d'Afrique et d'Asie de l'Ouest. La diminution des précipitations, la hausse des températures et l'augmentation de la demande accroissent la pression sur les aquifères de la région. Avec l'aide de l'AIEA, les pays recourent aux techniques d'hydrologie isotopique – techniques nucléaires qui permettent de retracer la source, l'âge et les mouvements de l'eau – pour gérer les réserves d'eaux souterraines de manière plus durable.

L'hydrologie isotopique « nous donne une empreinte de la molécule d'eau », explique Jodie Miller, cheffe de la Section de l'hydrologie isotopique à l'AIEA. « Cette empreinte nous permet de déterminer à quelle période l'eau présente dans le sol est tombée sous forme de précipitations. »

Des technologies nucléaires qui permettent d'évaluer la contamination des eaux souterraines

Dans le cadre d'un récent projet de recherche coordonnée de l'AIEA, le Koweït ainsi que l'Algérie, le Maroc et la Tunisie ont utilisé des isotopes de gaz rares tels que l'hélium 4 et le krypton 81 pour dater des eaux fossiles profondes – d'anciennes eaux souterraines restées sous terre pendant des milliers d'années avec peu, voire pas, de recharge courante – et évaluer leur éventuelle contamination par des activités pétrolières menées à proximité. Ces travaux de recherche ont permis de déterminer si elles étaient salubres aux fins d'une utilisation durable, étape essentielle dans la planification des ressources en eau sur le long terme.

« Des études menées à l'aide de gaz rares et de radiocarbone ont permis de découvrir au Koweït des eaux souterraines vieilles d'environ 36 000 ans », indique Chidambaram Sabarathinam, chercheur à l'Institut koweïtien de recherche scientifique (KISR). « Ces informations nous aident à repérer les périodes de recharge intense et facilitent une planification à long terme en vue d'une gestion durable de ces ressources en eau non renouvelables. »

Dans le système aquifère du nord-ouest du Sahara, d'une superficie de plus d'un million de kilomètres carrés que se partagent l'Algérie, la Libye et la Tunisie, il est apparu, grâce à l'utilisation de gaz rares comme le krypton 81, qu'une grande partie des eaux souterraines avait plus de 150 000 ans. Les pays coordonnent leurs actions pour protéger l'une des plus importantes ressources en eau communes de la région et faire en sorte que l'eau soit utilisée judicieusement et préservée pour les générations à venir.

Au Koweït, où la quasi-totalité de l'eau potable est produite par dessalement, les eaux souterraines naturelles constituent une réserve vitale, notamment en cas d'urgence ou d'interruption de l'approvisionnement. Elles ont fait l'objet de tests visant à y rechercher, au moyen de gaz rares et d'isotopes stables, une contamination par des émissions fugitives de gaz provenant des gisements de pétrole du pays. Depuis l'an 2000, l'AIEA favorise le renforcement des capacités en hydrologie isotopique et en gestion des ressources en eau grâce à son programme de coopération technique, notamment en aidant le KISR à créer un laboratoire qui procédera à des analyses sur les isotopes et mènera des études sur les eaux souterraines.

Gestion de ressources en eau limitées

En Tunisie, les eaux souterraines irriguent une grande partie des terres agricoles. Leurs réserves sont beaucoup sollicitées en raison de la diminution des précipitations et de l'augmentation de la demande. La Tunisie fait face en gérant l'alimentation des aquifères – ce qui consiste à stocker des eaux de surface excédentaires dans le sous-sol en vue de leur utilisation durant les périodes sèches. En collaboration avec des scientifiques tunisiens, l'AIEA détermine, au moyen d'isotopes, la durée pendant laquelle l'eau de la recharge reste sous terre et jusqu'à quelle distance elle s'éloigne du point de réalimentation.

« Les isotopes de l'environnement jouent un rôle essentiel dans la gestion des ressources en eaux souterraines en Tunisie », explique Kamel Zouari, professeur et chef de laboratoire à l'École nationale d'ingénieurs de Sfax (Tunisie). « Les techniques isotopiques sont particulièrement efficaces pour évaluer des systèmes aquifères multicouches complexes, surtout dans les zones très arides. »

Renforcement des capacités locales

Djibouti, pauvrement doté en eaux de surface et touché par de fréquentes sécheresses, compte absolument sur l'intégration des eaux souterraines dans les stratégies de gestion de l'eau. En 2023, avec l'aide du programme de coopération technique de l'AIEA, il a ouvert son premier laboratoire national d'hydrologie isotopique, qui a modernisé l'analyse des échantillons d'eau, améliorant la capacité du pays à protéger les réserves d'eau et à gérer les sécheresses. La réussite de cet établissement est source d'inspiration pour d'autres initiatives de renforcement des capacités dans la région.

Surveillance de la qualité de l'eau

L'hydrologie isotopique aide également les pays à évaluer la qualité de leurs eaux souterraines. Au Maroc et en Tunisie, on fait appel aux techniques isotopiques pour retracer les sources des eaux souterraines et leurs voies de contamination par les nitrates présents, en particulier, dans les eaux de ruissellement agricole et les eaux usées urbaines. En Jordanie, on s'en sert pour déterminer la radioactivité naturelle dans les eaux souterraines profondes et étayer les décisions concernant la salubrité de l'eau potable.

De sérieux manques à combler

Alors que la pénurie d'eau s'aggrave en Afrique et en Asie de l'Ouest, il devient de plus en plus urgent de se fonder sur la science pour gérer l'eau. Avec l'aide de l'AIEA, les pays de la région mettent sur pied des programmes de formation et des laboratoires et accumulent les outils et les compétences nécessaires pour prendre des décisions éclairées quant à la manière d'exploiter leurs ressources en eau et au moment où il convient de le faire. Ces activités sont intégrées dans les projets régionaux de coopération technique de l'AIEA visant à soutenir une utilisation durable de l'eau dans les régions arides.

« Les techniques nucléaires aident les collectivités à gérer leurs ressources en eau de manière plus durable, goutte après goutte, ce qui peut en retour contribuer à stimuler le développement économique », déclare Hua Liu, Directeur général adjoint chargé de la coopération technique à l'AIEA.

Collecte d'échantillons d'eau de pluie à Djibouti pour analyse isotopique à l'aide d'un nouvel équipement fourni par l'AIEA.

(Photo : Y. Vystavna/AIEA)



Une journée dans la vie d'un spécialiste de l'hydrologie isotopique à l'AIEA

Par Wolfgang Picot



Notre travail vient en appui de domaines si nombreux – l'agriculture, les changements climatiques, la santé publique et bien d'autres encore. Je suis fier de la contribution que j'apporte.

– Stephen Wangari, Laboratoire d'hydrologie isotopique de l'AIEA

Par une matinée ensoleillée de printemps, Stephen Wangari rejoint d'autres jeunes scientifiques du Laboratoire d'hydrologie isotopique de l'AIEA qui transportent des pompes, des flacons, des récipients en plastique et des tubes jusqu'à un bras tranquille du Danube, près du Siège de l'AIEA, à Vienne. Sur la rive herbeuse, ils connectent les appareils, immergent un tube dans l'eau et mettent en marche une pompe. L'eau commence à circuler dans l'installation, que les scientifiques surveillent de près.

« Il s'agit d'un essai visant à améliorer le prélèvement d'échantillons d'eau », explique Astrid Harjung, chercheuse au laboratoire. « Cela n'a pas l'air très enthousiasmant, n'est-ce pas ? », dit-elle le sourire aux lèvres, en montrant les objets étalés sur l'herbe. « Mais des essais sur le terrain comme celui-ci nous donnent l'occasion de tester et d'adapter le matériel dans des conditions réelles afin que l'échantillonnage puisse être effectué aussi efficacement que possible. »

Suivre les mouvements de l'eau à l'aide du soufre 35

Astrid et son équipe mettent au point une nouvelle méthode faisant appel au soufre 35 pour suivre la migration des eaux de surface – et des contaminants qu'elles peuvent contenir – vers les eaux souterraines.

« Le soufre 35, qui a une période courte, de 87 jours, se trouve naturellement dans les précipitations, explique Astrid. Le traçage nous permet de déterminer rapidement si les eaux souterraines d'un lieu particulier sont exposées aux contaminants. Cela pourrait être particulièrement utile, par exemple, dans les camps de réfugiés dépourvus d'installations sanitaires correctes ou dans les zones touchées par des catastrophes naturelles. »

Stephen a participé à la mise au point initiale des analyses à l'aide du soufre 35 alors qu'il était stagiaire au laboratoire. Après avoir travaillé un certain temps dans un laboratoire au Kenya, son pays d'origine, il est de retour à l'AIEA en tant que technicien au Laboratoire d'hydrologie isotopique, où ses travaux portent davantage sur le tritium que sur le soufre 35.

Comprendre le cycle de l'eau

Le tritium est un isotope de l'hydrogène dont la période est de 12,3 ans, ce qui permet d'obtenir des informations concernant le cycle de l'eau sur une cinquantaine d'années. Ces informations aident les hydrologues et les gestionnaires de l'eau à comprendre les variations à long terme de la recharge des eaux souterraines, le degré de connexion des aquifères aux systèmes d'eau de surface et comment cela se traduit pour la durabilité des eaux souterraines.



Aider les États Membres à procéder à l'analyse du tritium est une fonction essentielle du Laboratoire d'hydrologie isotopique depuis plus de 60 ans.

Alors que les collègues de Stephen poursuivent leur travail sur la rive, il leur dit rapidement au revoir et se rend au laboratoire pour traiter des échantillons d'eau pour le Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations.

Il vérifie si de nouveaux échantillons d'eau ont été envoyés par des États Membres et constate que c'est le cas de plusieurs. Sa journée sera consacrée à les purifier, les enrichir et les mesurer.

En quoi consiste l'analyse du tritium

Stephen place chaque échantillon dans un système de purification d'eau. Il connecte des tubes qui guideront l'eau à travers de minuscules colonnes remplies de résines échangeuses d'ions – matériaux spéciaux qui agissent comme des aimants sur les sels et autres particules chargées, les éliminant de l'eau. Ce processus durant environ une heure, Stephen en profite pour actualiser la base de données sur les échantillons du laboratoire.

Une fois la purification de l'eau terminée, les échantillons sont prêts pour l'étape suivante : l'enrichissement. Stephen les insère dans le système d'enrichissement par électrolyse, appareil de deux mètres de long à la structure en acier, bordée de câbles, d'écrans numériques et de rangées de tubes. L'électricité commence à circuler dans le système.

Contrairement au soufre 35, qui flotte librement dans l'eau, le tritium fait partie intégrante de la molécule d'eau et ne peut donc pas être simplement filtré pour être mesuré. L'électrolyse sépare progressivement les molécules d'eau en hydrogène et en oxygène, réduisant le volume de l'eau et concentrant par conséquent le tritium.

Stephen vérifie et entretient régulièrement les appareils et supervise le processus d'enrichissement, qui peut durer jusqu'à deux semaines. Il veille à ce que l'électricité circulant dans les échantillons soit progressivement augmentée en fonction des besoins.

« Nous nous efforçons toujours d'améliorer le processus d'enrichissement, déclare-t-il. La concentration de tritium est très faible et difficile à mesurer. Un enrichissement efficace est essentiel pour obtenir des informations fiables à partir des échantillons. »

Bien que le tritium soit très concentré après le processus d'enrichissement, il reste à peine détectable dans les échantillons d'eau. La moindre contamination par les rayonnements de l'atmosphère peut fausser les mesures des échantillons. C'est la raison pour laquelle Stephen transporte ces derniers, enrichis, dans une salle située à plusieurs étages sous terre et recouverte d'une épaisse couche de béton qui la protège du rayonnement ambiant. Là, il mélange soigneusement chaque échantillon avec une solution chimique et les place dans des appareils qui en mesureront la signature radioactive au cours des 24 heures suivantes.

À l'étage, la journée touche à sa fin. Astrid est revenue du terrain et elle et Stephen se racontent leur journée. Ils sont satisfaits des progrès accomplis et discutent de leurs tâches pour le jour suivant.

« Notre travail ici nous relie à de nombreuses régions du monde », déclare Stephen, alors qu'il accroche sa blouse et s'apprête à rentrer chez lui. « Notre travail vient en appui de domaines si nombreux – l'agriculture, les changements climatiques, la santé publique et bien d'autres encore. Je suis fier de la contribution que j'apporte. »



(Photos : A. Barber Huescar/AIEA)

Les réseaux de l'AIEA facilitent la recherche sur l'eau

L'eau douce propre qui est accessible ne représente que 0,5 % des ressources en eau sur Terre. Cette réserve limitée est fragilisée par la pollution, les changements climatiques et les besoins croissants d'une population mondiale en pleine expansion. Pourtant, de nombreux pays manquent de données essentielles sur leurs ressources en eau douce, ce qui entrave leur capacité à gérer ces ressources.

Depuis plus de soixante ans, l'AIEA aide les pays à suivre et à gérer leurs ressources en eau en collectant des données et en créant des réseaux mondiaux qui favorisent le partage et l'utilisation des données sur l'eau. Ces réseaux sont propices à la collaboration et à l'innovation dans les domaines de la recherche sur l'eau et de la gestion des ressources en eau.

Les données du GNIP et du GNIR sont accessibles par l'intermédiaire du portail WISER (Système d'analyse, de représentation et de recherche de données en hydrologie isotopique)



Scannez ici pour accéder au portail WISER

Créé en 1960 par l'AIEA et l'Organisation météorologique mondiale (OMM), le **Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP)** fournit des données qui aident les pays à comprendre et à suivre les changements dans les régimes de précipitations et à identifier les formes de précipitations (tempêtes de pluie, ouragans, chutes de neige) qui sont d'une importance capitale pour la recharge des nappes souterraines. Le GNIP, qui a atteint sa 65^e année d'existence, a compilé plus de 150 000 relevés mensuels provenant de 1 200 sites dans plus d'une centaine de pays. « Grâce au partenariat que nous avons noué avec l'AIEA », déclare la Secrétaire générale de l'OMM, Celeste Saulo, « nous renforçons les bases scientifiques qui nous permettent de comprendre le cycle hydrologique, nous augmentons les données ouvertes et nous ouvrons la voie aux innovations qui permettent de prendre de meilleures décisions à une époque marquée par des changements climatiques et un stress hydrique croissant.

Sans mesures, la gestion est impossible. Il est donc essentiel de partager les données, ce qui repose sur la confiance et la collaboration. »

Établi par l'AIEA en 2002, le **Réseau mondial de mesure des isotopes dans les cours d'eau (GNIR)** fournit des données sur l'eau des cours d'eau afin de déterminer les flux d'eau douce entrants et sortants, d'évaluer l'impact des activités humaines sur les cours d'eau, de quantifier les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface, et d'identifier les effets que les changements d'utilisation des sols ont sur les cours d'eau. Ces données nous aident à comprendre comment les cours d'eau réagissent aux changements climatiques et comment les rendre plus résilients.

En outre, l'AIEA développe actuellement un **Réseau mondial de mesure des isotopes dans les lacs (GNIL)** pour surveiller les effets des changements climatiques sur les lacs, notamment la perte d'eau due à l'évaporation.

L'AIEA s'efforce d'accroître la coopération ayant trait à l'eau par l'intermédiaire de son **Réseau mondial des laboratoires d'analyse de l'eau (Réseau GloWAL)**. Lancé en 2023, le réseau vise à fournir aux pays les outils et les connaissances spécialisées dont ils ont besoin pour mesurer, surveiller et gérer efficacement leurs ressources en eau.

« Le Réseau GloWAL illustre la volonté de l'AIEA de donner aux pays les moyens d'agir, d'encourager la collaboration, de produire des données utiles à l'élaboration de politiques et de promouvoir la contribution essentielle de l'eau à la paix et à la prospérité », déclare le Directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi.

Au cours de ses cinq premières années d'existence, le Réseau GloWAL prévoit de créer sept réseaux régionaux de laboratoires, d'équiper 100 laboratoires, de former 1 000 spécialistes de l'eau et de générer au moins un demi-million de points de données qui alimenteront une base de données mondiale accessible aux scientifiques et aux décideurs du monde entier.

Scannez ici pour en savoir plus sur le Réseau GloWAL



(Photo : Adobe Stock)

L'AIEA en quelques chiffres

Plus de **2 milliards de personnes** vivent dans des pays confrontés à une situation de stress hydrique. Parmi les **120 pays** qui disposent de données sur la qualité de l'eau, seuls **71** disposent d'informations sur les eaux souterraines.

D'ici 2030, la santé et les moyens de subsistance de **4,8 milliards** de personnes pourraient être menacés si la surveillance de la qualité de l'eau se s'améliore pas.

105 États Membres travaillent avec l'AIEA dans le domaine de l'**hydrologie isotopique** pour améliorer la gestion des **ressources en eau**

(depuis 2020)

L'AIEA apporte son appui à **91 projets de recherche** dans 54 pays dans le cadre de son **programme de recherche coordonnée**

(juillet 2025)

485 scientifiques dans **118 pays** ont été formés à l'**hydrologie isotopique**

(depuis 2020)

53 États Membres se servent de l'**hydrologie isotopique** pour évaluer les **ressources en eau transfrontières**

102 États Membres fournissent des données au Réseau mondial de mesure des isotopes dans les **précipitations**

L'AIEA et la Banque mondiale unissent leurs forces pour renforcer la sécurité de l'approvisionnement en eau au Niger



Le Directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi, et le Ministre nigérien de l'hydraulique, de l'assainissement et de l'environnement, Maïzama Abdoulaye, signent un accord soutenu financièrement par la Banque mondiale, en vue de mieux sécuriser l'approvisionnement en eau dans le pays. (Photo : D. Candano Laris/AIEA)

Avec le soutien financier de la Banque mondiale, l'AIEA et le Niger ont signé un accord qui vise à mieux sécuriser l'approvisionnement en eau dans le pays. Cette collaboration historique permettra d'améliorer la gestion des ressources en eau grâce à la construction d'un laboratoire national d'analyse de la qualité de l'eau et à la modernisation des laboratoires régionaux d'analyse de l'eau dans le pays.

« Étant donné que la pénurie d'eau affecte des vies et des moyens de subsistance, il est essentiel de renforcer la gestion des ressources en eau au Niger », a souligné le Directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi. « Avec cet accord, nous pouvons fournir au pays les infrastructures, les outils et le savoir-faire dont il a besoin pour mieux gérer cette ressource précieuse. »

« Le Niger peut compter sur l'AIEA pour l'aider à renforcer ses capacités

de gestion de l'eau et améliorer sa résilience à long terme dans ce domaine », a déclaré le Directeur général.

L'accord a été signé le 13 mars 2025 à Niamey par le Directeur général de l'AIEA et le Ministre nigérien de l'hydraulique, de l'assainissement et de l'environnement, Maïzama Abdoulaye, en présence du responsable des opérations de la Banque mondiale pour le Niger, Han Fraeters.

Le Niger fait face à une pénurie d'eau sévère en raison de son climat aride, de sa croissance démographique rapide et de ses infrastructures hydrauliques limitées. En outre, la qualité de l'eau suscite de plus en plus d'inquiétudes.

La modernisation des laboratoires régionaux d'analyse de l'eau du Niger « est plus essentielle que jamais », a affirmé le Ministre, M. Abdoulaye. « Il

s'agit d'accélérer l'adoption de mesures, pour alerter la population sur les risques de contamination et la protéger contre ces menaces chimiques. Je suis ravi de signer cet accord avec l'AIEA, qui permettra de créer un laboratoire de référence et de moderniser ceux qui existent déjà. »

La sécurité de l'approvisionnement en eau, c'est-à-dire la disponibilité, la qualité, la gestion et la protection de cette ressource, est essentielle au développement humain ainsi qu'à la durabilité environnementale et économique. L'AIEA aide les pays à gérer leurs ressources en eau douce en se servant d'une technologie nucléaire, l'hydrologie isotopique, qui permet de recueillir des informations sur les réserves d'eaux de surface et d'eaux souterraines – notamment pour en retracer l'origine et les mouvements et évaluer leur qualité – ainsi que

de collecter des données sur leurs interactions. L'AIEA apporte un soutien capital aux pays qui cherchent à déterminer l'âge de leurs réserves d'eaux souterraines afin de s'assurer qu'elles peuvent être gérées durablement.

Une fois opérationnel, le nouveau laboratoire national d'analyse de la qualité de l'eau aidera les autorités nationales à analyser la distribution, le taux de recharge et la qualité des ressources en eau, ce qui facilitera le développement économique du pays et l'aidera ainsi à répondre aux besoins de sa population croissante. Le laboratoire

s'inscrit dans le cadre d'un projet plus large qui vise à mettre en place une plateforme intégrée de gestion des ressources en eau pour faciliter les activités de planification, les stratégies et les investissements liés à l'eau.

Ce nouveau partenariat fait suite aux engagements pris lors de la Conférence des Nations Unies sur l'eau de 2023, qui s'est tenue à New York. Lors d'une manifestation parallèle consacrée au lancement du Réseau mondial des laboratoires d'analyse de l'eau (GloWAL), l'AIEA et le Niger se sont engagés à travailler ensemble au sein de ce réseau, avec le soutien de la Banque mondiale.

L'objectif premier de l'accord est de veiller à ce que le nouveau laboratoire national d'analyse de la qualité de l'eau du Niger soit pleinement opérationnel, correctement équipé et doté d'un personnel dûment qualifié dans le domaine de l'analyse technique. L'AIEA travaillera en étroite collaboration avec le Niger pour mettre sur pied le laboratoire, en veillant tout particulièrement à sa pérennité.

— Par Thomas Perrouy



La nouvelle collaboration nouée entre l'AIEA et le Niger permettra d'améliorer la gestion des ressources en eau grâce à la construction d'un laboratoire national d'analyse de la qualité de l'eau et à la modernisation des laboratoires régionaux d'analyse de l'eau dans le pays. (Photo : D. Candano Laris/AIEA)



Dessalement nucléaire : une solution durable pour assurer la sécurité hydrique dans la région arabe



(Photo : Adobe Stock)

Pour les pays arabes comme pour des pays d'autres régions du monde, le dessalement nucléaire pourrait permettre de remplacer les technologies classiques de dessalement, gourmandes en énergie.

La pénurie d'eau douce est un problème persistant dans la région arabe, où les ressources naturelles en eau limitées et la croissance rapide de la population exercent une pression de plus en plus forte sur l'approvisionnement en eau. Pendant des décennies, les pays de la région se sont appuyés sur le dessalement traditionnel, qui dépend fortement des combustibles fossiles. Face à la demande croissante d'énergie et aux préoccupations liées aux changements climatiques, de nombreux pays explorent aujourd'hui une option plus propre.

En utilisant l'énergie nucléaire aux fins du dessalement, ces pays peuvent réduire leurs émissions de gaz à effet de

serre tout en parvenant à sécuriser leur approvisionnement en eau douce.

Aidés par l'AIEA, plusieurs pays arabes évaluent la faisabilité du dessalement nucléaire dans le cadre d'études techniques, de programmes de formation et d'activités de coopération régionale. Au fur et à mesure que l'intérêt pour cette technologie grandit, celle-ci est de plus en plus considérée non seulement comme une solution pratique, mais aussi comme un élément d'une stratégie plus globale pour renforcer la sécurité hydrique dans un contexte de défis complexes en matière de développement et d'environnement.

Comment l'AIEA appuie le dessalement nucléaire

L'AIEA travaille avec les pays arabes depuis près de 30 ans pour soutenir les initiatives de dessalement nucléaire. Grâce à des études de faisabilité, à

des programmes de formation et à des recherches, elle aide ces pays à analyser comment l'énergie nucléaire peut contribuer à la production d'eau douce. Des outils spécialisés comme le logiciel d'évaluation économique du dessalement (DEEP) permettent aux décideurs de comparer les coûts et l'efficacité des différentes technologies.

Contrairement au dessalement classique, le dessalement nucléaire utilise la chaleur et l'électricité générées par le réacteur pour séparer le sel de l'eau de mer, ce qui permet de réduire les émissions de carbone tout en garantissant une source d'eau régulière à long terme.

JORDANIE : progresser sur la voie du dessalement nucléaire par SMR

La Jordanie, dont 75 % du territoire est classé comme désert aride, prend des mesures importantes en faveur du dessalement nucléaire. Le Gouvernement étudie la possibilité

d'utiliser de petits réacteurs modulaires (SMR) pour alimenter en énergie les usines de dessalement.

« En Jordanie, le dessalement est considéré comme la principale solution pour répondre à la demande d'eau douce attendue et réduire l'écart entre l'offre et la demande », explique Khalid Khasawneh, spécialiste des réacteurs nucléaires de puissance à la Commission jordanienne de l'énergie atomique (JAEC). « Par rapport aux sources d'énergie importées, il offre aux consommateurs finaux des prix compétitifs pour l'eau douce. »

ARABIE SAOUDITE : le leader du dessalement explore la piste du nucléaire

L'Arabie saoudite, qui est déjà le plus grand producteur mondial d'eau dessalée, a commencé à étudier l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins de dessalement dans les années 1970. Dans le cadre de sa stratégie visant à passer d'une économie reposant sur le pétrole à une production d'énergie diversifiée, le pays envisage désormais de se doter de centrales nucléaires pour réaliser son objectif « zéro émission nette » et répondre à ses besoins en eau à long terme.

Selon la Cité du Roi Abdallah pour l'énergie atomique et renouvelable, « le Royaume prévoit de recourir à un bouquet énergétique durable, qui inclurait l'énergie atomique, pour répondre à ses besoins énergétiques et ainsi produire de l'électricité, de l'eau dessalée et de l'énergie thermique », et ce, dans le but de réduire la dépendance aux hydrocarbures et de soutenir la croissance économique.

ÉGYPTE : énergie nucléaire et stratégie d'approvisionnement en eau

L'Égypte intègre également la technologie nucléaire dans sa stratégie d'approvisionnement en eau. Alors que

la première centrale nucléaire du pays, El-Dabaa, est en cours de construction, les discussions se poursuivent pour utiliser l'énergie nucléaire aux fins du dessalement dans les régions côtières. Selon le Service d'information de l'État égyptien, « les installations nucléaires peuvent fournir l'énergie dont ont besoin les usines de dessalement pour produire de l'eau potable ».

KOWEÏT : envisager le dessalement nucléaire comme solution durable d'approvisionnement en eau

Le Koweït, qui dépend fortement du dessalement de l'eau de mer pour répondre à ses besoins en eau douce, se tourne de plus en plus vers les technologies nucléaires pour trouver des solutions plus durables. « Le Koweït est confronté aux effets des changements climatiques, à l'acidification des océans et aux problèmes de pollution liés à l'industrie pétrolière et maritime ainsi qu'aux activités de production d'électricité et de dessalement », indique Nader Al-Awadi, commissaire exécutif chargé de la coopération internationale à l'Institut koweïtien de recherche scientifique. Dans le droit fil de l'action conduite pour relever ces défis environnementaux, le Koweït a créé une installation à grande échelle pour mener des recherches sur l'acidification des océans afin de mieux comprendre les effets de l'évolution des conditions océaniques sur les écosystèmes marins – un sujet étroitement lié à l'efficacité des technologies de dessalement.

Perspectives d'avenir

Le dessalement nucléaire exige des investissements, des cadres réglementaires et la participation des parties intéressées. L'AIEA travaille en étroite collaboration avec les gouvernements intéressés afin de promouvoir une mise en œuvre sûre, efficace et économiquement avantageuse de cette technologie.

Pour que le dessalement nucléaire soit un succès, il sera essentiel de poursuivre les investissements, de mettre en commun les connaissances et de veiller à la conclusion de partenariats régionaux entre les pays arabes qui envisagent cette option. Si cette technologie est largement adoptée, elle pourrait renforcer la sécurité hydrique dans la région pour les générations à venir. Mettant l'accent sur l'engagement croissant des pays arabes, M. Khasawneh, de la Commission jordanienne de l'énergie atomique, déclare : « Le soutien qu'apporte l'AIEA au programme nucléaire jordanien, en particulier dans le cadre du projet sur les SMR, est très apprécié et joue un rôle essentiel dans le renforcement de nos capacités et la poursuite de nos efforts. »

« Les applications non électriques de l'énergie nucléaire, telles que le dessalement, offrent des solutions durables pour diverses activités très gourmandes en eau – qu'il s'agisse de couvrir les besoins de millions de ménages, des applications industrielles de l'eau douce, de l'agriculture ou encore de l'élevage », explique Francesco Ganda, responsable technique chargé des applications non électriques à l'AIEA.

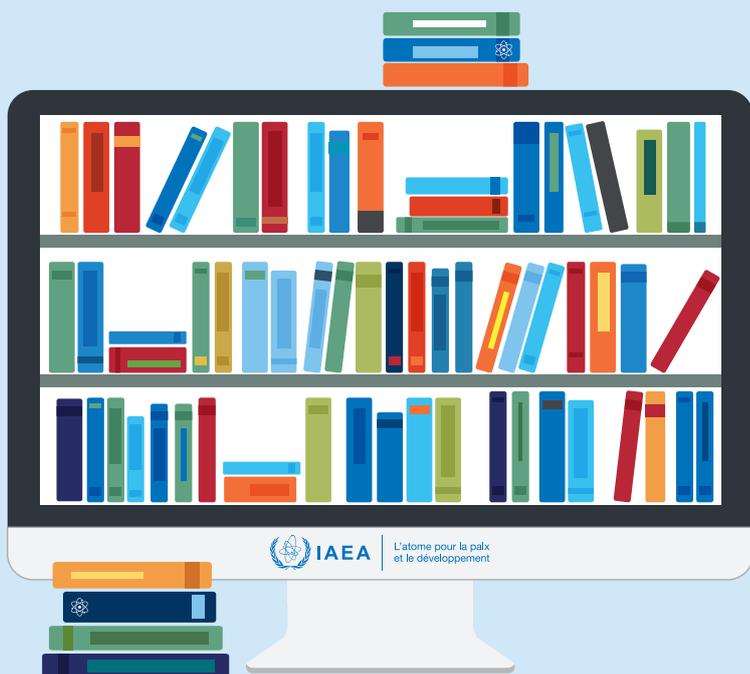
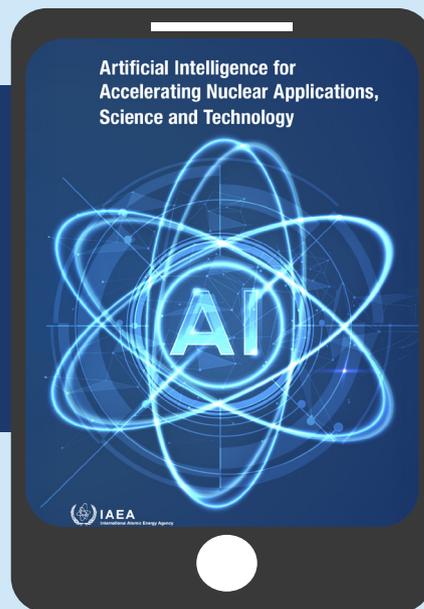
— Par Joelle Matta

Le saviez-vous ?

L'IA nous aide aujourd'hui à mieux gérer les ressources en eau.

Scannez ce code QR pour voir

comment l'IA fait progresser les utilisations pacifiques de la science nucléaire dans le domaine de l'eau.



Parcourir toutes les publications de l'AIEA

accessibles gratuitement en ligne



www.iaea.org/fr/publications

Pour commander un ouvrage, veuillez écrire à l'adresse suivante : sales.publications@iaea.org

Publications de l'AIEA

Œuvrons ensemble

à un avenir meilleur

L'AIEA invite

les États Membres, les acteurs industriels, les institutions financières et autres parties prenantes à travailler avec elle dans le cadre de ses initiatives phares et à partager leurs compétences spécialisées, leurs outils de modélisation, leurs connaissances industrielles, leurs activités de sensibilisation et leurs ressources financières.

SANTÉ



LES FEMMES DANS
LE NUCLÉAIRE



ÉNERGIE



ENVIRONNEMENT



ALIMENTATION ET
AGRICULTURE



Pour en savoir plus sur les
initiatives phares de l'AIEA



IAEA

L'atome pour la paix
et le développement

Forum international de haut niveau sur l'initiative

NUTE^C PLASTICS

25 ET 26 NOVEMBRE 2025

MANILLE (PHILIPPINES)

Une solution nucléaire à la pollution plastique

Organisé par l'AIEA

Accueilli par la
République des Philippines



#NUTEcplastics

