

LUM

N°16
FÉV /
MAI 2022

Le magazine science et société de l'Université de Montpellier



> Lumière
sur l'eau



Édito

Gérer l'eau, un défi majeur

La gestion des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques, vitale pour les êtres humains et leurs activités, constitue l'un des défis majeurs de l'humanité pour le 21^e siècle, et ce seizième numéro de votre magazine *Lum* lui est entièrement consacré. Les enjeux liés à l'eau sont de toutes natures : environnementaux, alimentaires, sociétaux, sanitaires, économiques et financiers, politiques et géopolitiques, etc.

Des enjeux cruciaux dans un contexte de changement climatique et d'urbanisation rapide de nos sociétés humaines qui exacerbent les inégalités et les risques liés à l'eau. Pourtant, malgré l'urgence à agir afin d'éviter une crise mondiale de l'eau, cette gestion souffre encore trop souvent d'un manque d'intérêt de la part de nombreux décideurs.

Si la mise en place des Objectifs de Développement Durable et de leur « Agenda 2030 » a par endroit permis de mettre en évidence des situations inacceptables pour des milliards d'habitants de notre planète, atteindre les cibles qu'ils ont fixées s'avère long et difficile. En effet, la problématique si transversale de la ressource en eau et de sa gestion questionne l'organisation complexe de nos sociétés : la participation des populations, la place des femmes (en particulier dans les pays en développement), la bonne gouvernance, l'amélioration de la santé, l'impact du développement sur l'environnement, la prévention des conflits, les flux migratoires, etc.



Sur tous ces sujets fondamentaux, l'Université de Montpellier apporte une contribution majeure. Avec le MESRI et l'UNESCO, elle a créé en février 2021 le Centre International UNESCO sur l'Eau « ICIREWARD - Montpellier » qu'elle accueille sur son campus. Unique Centre International sur l'Eau en France, bénéficiant d'une très forte reconnaissance et d'une grande visibilité internationales, ICIREWARD rassemble plus de 400 scientifiques et 150 doctorantes et doctorants issus de 17 unités de recherche soutenues par 13 établissements d'enseignement supérieur et organismes de recherche. Fort de cette diversité, le Centre UNESCO de Montpellier est ainsi en mesure de mettre en œuvre les indispensables approches interdisciplinaires à la hauteur des défis à relever. L'inauguration prochaine des bâtiments du projet HydroPolis qui réunira laboratoires de recherche, formations et équipes issues des entreprises viendra renforcer les moyens disponibles pour atteindre ces objectifs.

L'Université de Montpellier et ses partenaires sont donc en pointe pour aborder la complexité des enjeux de l'eau, des réflexions qu'ils suscitent, et des solutions qu'il faut imaginer partout sur la planète pour relever ce qui est bien l'un des défis incontournables du 21^e siècle.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce seizième numéro du magazine *Lum*.

Philippe Augé,
Président de l'Université de Montpellier

Eric Servat,
Directeur du Centre international Unesco
sur l'Eau ICIREWARD



Écosystème

6

Ainsi fond, fond, fond...

10

La biodiversité des rivières en péril

12

La mystérieuse affaire du bloom de Thau

14

Quand la ville fait pression



Gestion

16

Des économies au compte-goutte

18

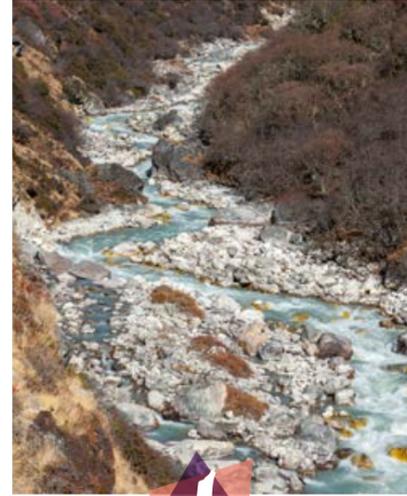
Des eaux et débats

20

*Aquifère ! Aquifère !
Est-ce que j'ai une gueule d'aquifère ?*

22

Le CHARM de l'eau



Risque

24

*« Vous n'avez jamais vu un
flamant rose devant un tribunal »*

26

Dangereux dégel

28

Champions de la détoxification

30

Avant nous le déluge



6

Ainsi fond, fond, fond...

10

La biodiversité des rivières en péril

12

La mystérieuse affaire du bloom de Thau

14

Quand la ville fait pression

#umontpellier

Lum - magazine de l'Université de Montpellier
163 rue Auguste Broussonnet - 34 090 Montpellier - www.umontpellier.fr
Directeur de publication // Philippe Augé
Réalisation // Direction de la communication - communication@umontpellier.fr
Rédactrice en chef // Aline Périault - aline.periault@umontpellier.fr - tél. : 04 34 43 31 89

A collaboré à ce numéro // Lucie Lecherbonnier
Conception graphique et mise en page // Caroline Macker, Thierry Vicente
Illustrations // Thierry Vicente
Impression // JF impression - 96 rue Patrice Lumumba - 34 075 Montpellier
Tirage // 6 000 exemplaires - **Dépôt légal** // Février 2022 - **ISSN** // 2431-1480

ÉCOSYSTÈME

AINSI FOND, FOND, FOND...

Dépôt de poussières et crevasse remplie d'eau sur un glacier du volcan Antisana, en Équateur

oiseaux, insectes, crustacés, algues, champignons, virus, bactéries et même tardigrades. Bienvenue... sur la glace. Un réservoir de vie insoupçonné et qui recèle encore des mystères : « *de nombreuses espèces qui composent cette cryobiodiversité restent à décrire* », explique Olivier Dangles*. Mais le temps presse, car cette biodiversité de l'extrême est en péril. En cause : la disparition de son habitat, victime emblématique du dérèglement du climat. En un demi-siècle, les glaciers du monde entier ont en effet perdu 9 000 milliards de tonnes de glace, soit chaque année trois fois le volume de glace contenu dans les Alpes européennes. « *Après avoir utilisé ces dernières décennies les mots "retrait" ou "recul" pour décrire la dynamique des glaciers, nous devons désormais fouiller un nouveau champ lexical : celui de l'extinction* », déplore le chercheur du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive. D'ici 2100, la masse totale des glaciers dans le monde aura diminué de 35 % à 55 %.

Et parce que certaines espèces qui composent cette cryobiodiversité ne vivent que sur les glaciers, et nul part ailleurs, elles s'éteindront avec eux. « *Plusieurs dizaines de glaciers de par le monde se sont déjà éteints, tout comme les espèces endémiques qu'ils abritaient* », précise l'écologue. Cette fonte des glaces impacte également les écosystèmes jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres en aval, comme les plantes qui aiment les névés ou vivent en milieu humide. « *Par ailleurs les glaciers fournissent de l'eau et des sels minéraux indispensables à la vie* », explique le chercheur.

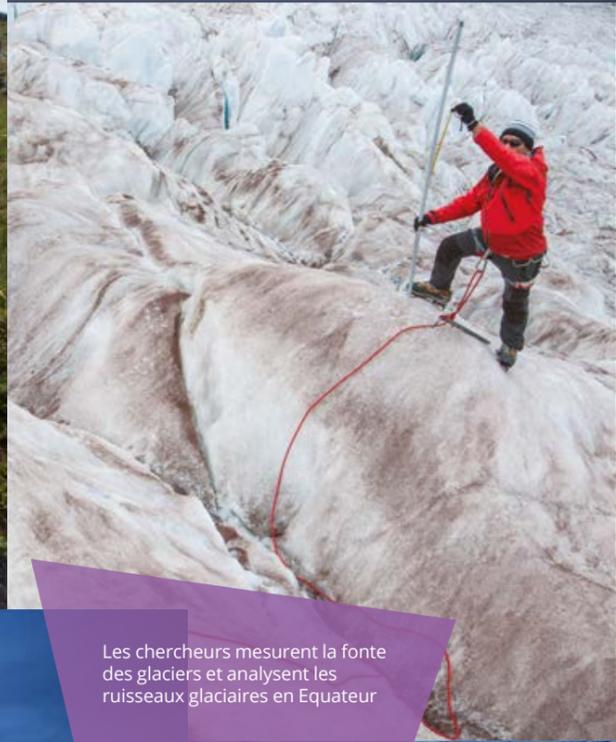
Les conséquences écologiques, mais aussi physiques et sociales, de l'extinction des glaciers à l'échelle mondiale restent pourtant mal connues. « *Malgré l'urgence, aucune étude transdisciplinaire n'a jusqu'alors été menée* », constate Olivier Dangles. Alors pour mieux connaître cette biodiversité vouée à disparaître, mais aussi pour mieux appréhender le phénomène dans son ensemble, le chercheur participe au projet « *Life without ice* » porté par l'IRD et l'Inrae. « *L'objectif est de rassembler des scientifiques venant de différents horizons et de différentes disciplines scientifiques afin d'étudier la fonte des glaciers et ses conséquences.* »

Un projet qui permettra de mieux connaître cette fameuse cryobiodiversité, notamment en caractérisant les changements d'habitats, mais aussi en cataloguant les espèces menacées et celles qui pourraient être capables de s'adapter. Une ambition qui ne laisse pas de glace, même s' « *il est probable que cette cryobiodiversité disparaîtra avant d'avoir livré tous ses secrets* », redoute Olivier Dangles. 

* CEFE (UM - CNRS - IRD - EPHE)



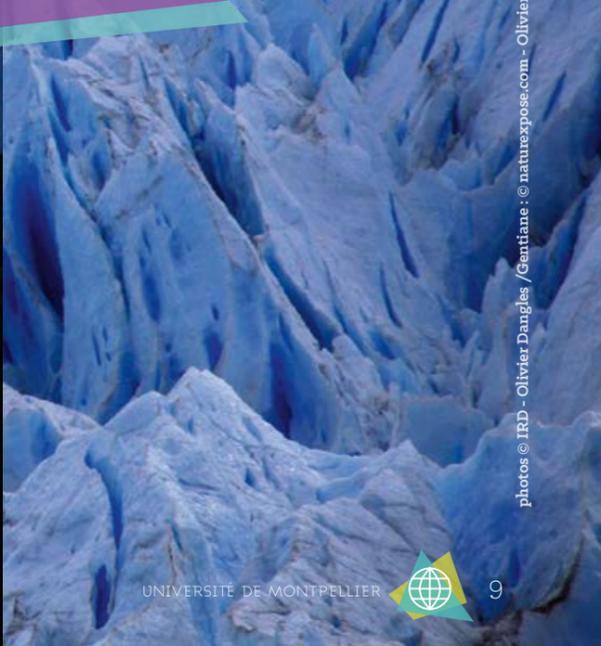
Une gentiane en Equateur



Les chercheurs mesurent la fonte des glaciers et analysent les ruisseaux glaciaires en Equateur



Le pinson des glaciers, *Idiopsar speculifer*, est un des rares oiseaux qui niche dans les glaciers de haute altitude
La fonte des glaces impacte les écosystèmes jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres en aval
Le carabe des névés, *Nebria lafresnayi*



photos © IRD - Olivier Dangles / Gentiane : © naturexpose.com - Olivier Dangles et François Nowick / Le pinson des glaciers : Jan Ebr (CC BY) / Carabe des névés : Pierre Moret



Entre les extinctions provoquées par les modifications des habitats ou la pollution, et les introductions d'espèces, les activités humaines ont profondément bouleversé la biodiversité en poissons des cours d'eau de toute la planète.

Si les cours d'eau ne représentent que 3 % de la surface du globe, ils abritent pourtant près de 17 000 espèces de poissons. Comment cette faune est-elle impactée par les activités humaines ? Pour le savoir, Sébastien Villéger, chercheur au laboratoire Biodiversité marine, exploitation et conservation (Marbec)* et ses collaborateurs de l'Université de Toulouse ont scruté plus de 2 400 cours d'eau, couvrant près de 80 % des rivières du globe. Objectif : cartographier le nombre d'espèces dans les rivières pour déterminer les changements de biodiversité subis au cours des deux derniers siècles. « *L'étude la plus exhaustive jamais menée sur ce sujet* », souligne le chercheur.

Des rivières préservées loin de l'homme

Et d'après leurs résultats, qui ont été publiés dans la revue *Science*, ces changements sont légion. « *Plus de 50 % des cours d'eau considérés dans l'étude ont eu leur faune de poissons fortement modifiée par les activités des hommes* », explique Sébastien Villéger. Certaines rivières sont-elles épargnées ? « *Notre étude montre que seuls 14 % des cours d'eau du globe abritent une biodiversité en poissons peu impactée par les activités humaines.* » Ces cours d'eau, qui n'affichent aucun changement local de leur faune, ce sont précisément les

LA BIODIVERSITÉ DES RIVIÈRES EN PÉRIL

rivières situées le plus loin de l'homme, dans les zones où il y a peu d'activité économique : « *les zones tropicales comme l'Amazonie, l'Afrique centrale, une partie de l'Asie du sud-est, le nord de l'Australie et quelques cours d'eau à l'extrême nord de l'hémisphère Nord* », précise le chercheur.

Partout ailleurs, la faune qui peuplent les rivières n'a plus rien à voir avec ce qu'elle était quelques décennies auparavant. Certaines espèces sont en voie d'extinction, comme l'esturgeon qui a été décimé par la surpêche. D'autres se portent mal, comme la truite, espèce particulièrement sensible qui tolère aussi mal le réchauffement des eaux que la pollution des cours d'eau. D'autres espèces encore sont affectées par la modification de leurs habitats, comme celles qui voient leurs eaux turbulentes se transformer en eaux stagnantes à la faveur de la construction d'un barrage, cédant ainsi la place à d'autres poissons plus adaptés à ce nouveau milieu.

Espèces introduites

Car si certaines espèces sont désormais aux abonnés absents, d'autres ne demandent qu'à prendre leur place. « *Un tiers des poissons que l'on retrouve*

aujourd'hui dans les rivières françaises n'y étaient pas historiquement », précise Sébastien Villéger. Carpe, sandre, gambusie, poisson-chat, perche-soleil, silure, autant de poissons qui font désormais partie intégrante de nos paysages fluviaux mais qui ont tous été introduits par l'humain, volontairement pour la plupart. Une introduction préjudiciable pour les espèces natives qui pâtissent souvent de l'arrivée des nouveaux venus.

Alors pourquoi faire déménager les poissons ? « *Les introductions ont commencé dès l'antiquité avec notamment la carpe introduite en Europe par les romains pour l'élevage puis d'autres espèces d'intérêt halieutique ont été introduites surtout après le 18^e siècle* », détaille le biologiste. Certaines de ces espèces permettent aussi aux amateurs de pêche d'afficher de belles prises, comme le silure ou le blackbass. De nombreuses espèces ont également été introduites par le biais de l'aquariophilie comme le poisson-rouge que certains propriétaires d'aquarium ont relâché dans les rivières. « *La gambusie quant à elle a été introduite dans de nombreux pays pour lutter contre la prolifération des moustiques dont elle mange les larves* », complète Sébastien Villéger.

Homogénéisation

Mais alors avec tant de nouveaux arrivants, la biodiversité de nos rivières n'a-t-elle pas augmenté ? « *En effet elle a parfois localement augmenté, mais ce n'est pas forcément une bonne nouvelle...* » répond Sébastien Villéger. Car cette augmentation de biodiversité s'accompagne d'une uniformisation de nos rivières, qui finissent par toutes se ressembler. Un problème à l'échelle planétaire car la plupart des cours d'eau du globe étant soumis à des pressions humaines similaires, les différences faunistiques, fonctionnelles et phylogénétiques entre cours d'eau soumis à ces mêmes perturbations tendent à se réduire. « Une homogénéisation d'autant plus problématique qu'elle réduit les capacités de réponse des écosystèmes face aux changements globaux. « *Ce qui entraînera probablement des pertes locales d'espèces dans le futur* », met en garde le spécialiste.

Peut-on limiter ce phénomène ? « *On peut prendre des mesures de protection et de restauration des habitats comme on l'a fait pour le saumon, ce qui a permis de sauver les populations. On peut aussi envisager de prendre des mesures plus drastiques pour éviter l'introduction de nouvelles espèces et*

limiter l'expansion de celles déjà installées », envisage Sébastien Villéger. Aux Etats-Unis, des barrières électriques ont par exemple été déployées dans des canaux afin d'empêcher la carpe argentée d'envahir les grands lacs depuis le bassin du Mississippi. En France à l'heure actuelle seuls la perche-soleil et le poisson-chat sont officiellement considérés comme nuisibles. 🐟

*Marbec (UM - CNRS - IRD - Ifremer)





LA MYSTÉRIEUSE AFFAIRE DU BLOOM DE THAU

1

Des eaux devenues soudainement vertes, des huîtres qui maigrissent et meurent en cascade, une disparition inquiétante... Il se passe des choses étranges dans la lagune de Sète en cette fin d'année 2018. Malédiction ou phénomène naturel ? Pour percer ce mystère, l'équipe du projet « Eaux vertes » a enquêté tout au long de l'année 2019 pour débusquer un tout petit, petit, petit coupable. Son nom ? *Picochlorum*.

Décembre 2018, les habitants de Sète peinent à en croire leurs yeux. Le changement s'est produit en quelques jours seulement : le bassin de Thau est devenu vert. Pas vert d'eau ni verdâtre, non ! Vert ! Un choc alors que depuis deux mois déjà les ostréiculteurs locaux constatent, impuissants, l'amaigrissement de leurs huîtres. Dans les labos qui assurent le suivi de la lagune, c'est l'effervescence : « dans les canaux, partout, l'eau était verte, se souvient Béatrice Bec, chercheuse au laboratoire de biologie marine Marbec. Un bloom pareil en plein hiver c'était impressionnant, mais surtout complètement inédit dans l'étang de Thau ».

Une disparition inquiétante

En langage d'expert, un « bloom » désigne l'efflorescence importante et soudaine d'une micro-algue au sein d'un écosystème aquatique, généralement favorisée par les hausses de température et/ou les apports nutritifs, et responsable de cette couleur verte. Très rapidement Béatrice Bec et une équipe de scientifiques parmi lesquels Franck Lagarde, chercheur à l'Ifremer, montent le projet « Eaux vertes » pour comprendre les causes de ce déséquilibre. Dès janvier des échantillons sont prélevés tous les 15 jours en trois points différents de la lagune et à deux profondeurs. « Toute la lagune était impactée, avec des concentrations jamais observées ici : un milliard de cellules de micro-algues par litre d'eau prélevé ! Ça commence à faire beaucoup de suspects... »

Plus étrange encore, les analyses révèlent la disparition quasi-totale dans la lagune des diatomées, un groupe de micro-algues constituant l'alimentation principale des huîtres qui, en filtrant l'eau, les retiennent dans leurs branchies. A la place des diatomées, les biologistes observent la présence massive d'un phytoplancton inconnu. « Il se présente comme une minuscule boule verte, de deux à trois micromètres, explique Béatrice Bec. Cette micro-algue unicellulaire est tellement petite qu'elle n'est pas retenue par les branchies des huîtres qui de toute façon ne pourraient la digérer faute d'avoir les bonnes enzymes. » Voilà pour le mystère des huîtres maigres mais le coupable lui, n'a toujours pas de nom.

Un si petit coupable

Et pour cause, la micro-algue est si petite que les biologistes ne parviennent pas à l'identifier au microscope. Pour leur venir en aide, ils font appel à l'analyse moléculaire et c'est la chercheuse au CNRS Ariane Attéia qui parvient à identifier le coupable. Son nom : *Picochlorum* ! « Ce picophytoplancton a déjà été identifié en mer Adriatique, autour de Roscoff et dans les eaux de la Côte Vermeille mais jamais dans des proportions pareilles. Il peut vivre dans une gamme de températures et de salinités assez large ce qui lui a permis de se développer dans des conditions hivernales. » Mais pourquoi un tel bloom et pourquoi maintenant ? Quels facteurs exceptionnels ont permis son surgissement ? Autant de questions qui hantent les habitants de la lagune alors que les semaines passent, que les eaux restent vertes et les huîtres maigres.

Pour y répondre, les scientifiques se penchent sur les données compilées par le REPHY, le réseau d'observation et de surveillance du phytoplancton de l'Ifremer chargé du suivi de la lagune, et comparent les analyses de 2018 avec celles des années précédentes. Premier constat : l'été 2018 a été marqué par une malaïgue, « les mauvaises eaux » en occitan. « La malaïgue c'est un peu comme si la lagune faisait une crise de foie à force d'être trop nourrie en azote et en phosphore. Ces apports d'origine anthropique favorisent un développement ex-cédentaire de macro-algues qui en se dégradant vont entraîner un déséquilibre des teneurs en oxygène en absence de vent et sous de fortes chaleurs. Cette malaïgue a entraîné une déstabilisation de la diversité et des abondances des communautés phytoplanctoniques » explique Béatrice Bec.



2

Une synergie complice

Les vents de septembre chassant la malaïgue, l'histoire aurait pu en rester là, sauf que l'année 2018 fut également une année très pluvieuse, marquée par une succession de tempêtes et d'orages. Des phénomènes naturels qui favorisent, là encore, un apport supplémentaire de nutriments dans la lagune. « Ce qu'on a observé rétrospectivement c'est que dès le mois d'août *Picochlorum* est présent à bas bruit dans la lagune déjà déstabilisée par la malaïgue. Il a su profiter d'une synergie d'événements climatiques et environnementaux exceptionnels qui amènent in fine à ce bloom. »

Au final, les humains de la lagune, comme les huîtres et les diatomées, auront dû attendre un an pour que leur écosystème retrouve naturellement le bleu profond de ses eaux. *Picochlorum*, quant à lui, purge sa peine au laboratoire Marbec où les experts se relaient pour le faire parler : « Nous avons isolé une souche et nous testons ses capacités physiologiques, ses besoins nutritifs, ses températures préférentielles... » Autre objectif : développer des outils moléculaires pour sonder la lagune et potentiellement mettre en place un système d'alerte contre cet envahisseur minuscule mais si résistant. « Nous nous sommes même amusés à le priver d'oxygène... Il s'en sort très bien » conclut Béatrice Bec.

*Marbec (UM - CNRS - IRD - Ifremer)



3

« Dès le mois d'août *Picochlorum* est présent à bas bruit dans la lagune »

Quand la ville fait pression

Tous les écosystèmes sont marqués de l’empreinte de l’homme, et les communautés bactériennes de nos rivières n’y échappent pas. Les chercheurs observent en effet la présence de bactéries résistantes aux antibiotiques dans les cours d’eau qui traversent les villes. Une « pression urbaine » mise en évidence notamment sur le Lez à Montpellier.

Elles sont naturellement présentes par millions dans les eaux de nos rivières, représentant un maillon incontournable de l’écosystème aquatique : les bactéries. Et elles aussi sont impactées par les activités humaines, comme le montrent les travaux de Patricia Licznar-Fajardo. La chercheuse du laboratoire Hydrosociences Montpellier* s’est penchée sur les communautés bactériennes du Lez, du Verdanson et du Font d’Aurelle, les cours d’eau qui traversent l’agglomération montpelliéraine. « Nous avons ainsi pu suivre tout le continuum depuis la source karstique du Lez jusqu’aux lagunes, ce qui nous a permis d’évaluer l’impact du passage en milieu urbain sur les communautés bactériennes de ces rivières », explique la spécialiste.

Navette

Avec ses collègues, elle a notamment recherché les résistances émergentes aux antibiotiques. « Nous avons mis en évidence que de nombreuses bactéries autochtones, c’est-à-dire naturellement présentes dans l’eau, étaient antibio-résistantes ». Comment ont-elles acquis cette capacité ? Si la plupart des bactéries hydriques présentent naturellement cette faculté, certaines des résistances sont directement liées aux activités humaines. « Au départ les résistances sont souvent acquises dans le microbiote digestif des patients sous traitement antibiotique, puis ces bactéries “humaines” devenues résistantes sont éliminées dans les fèces et certaines finissent dans le milieu naturel », détaille Patricia Licznar-Fajardo.

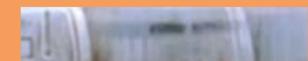
Là, elles vont rencontrer les bactéries naturellement présentes dans les rivières. « Ces organismes sont capables d’échanger des gènes entre eux, les bactéries rejetées par l’homme dans l’eau peuvent ainsi transférer le gène leur conférant cette résistance aux bactéries autochtones, qui pourraient elles-mêmes le retransférer ensuite, on dit qu’elles servent de navette », explique Patricia Licznar-Fajardo.

One health

Et des bactéries résistantes voire multi-résistantes, les chercheurs en ont trouvé davantage en milieu urbain et en aval de la ville qu’au niveau de la source. « Nous avons également constaté une variation au niveau de la composition des communautés le long du continuum, avec un enrichissement en bactéries humaines et potentiellement pathogènes », complète la spécialiste. En cause ? Les ruissellements urbains, les eaux usées, les débordements liés aux épisodes de fortes pluies, les activités humaines, les activités hospitalières... « La ville a un impact important sur les communautés bactériennes et sur leur résistance, nous avons en particulier trouvé davantage de résistance en aval de l’hôpital », note la chercheuse.

Des résultats d’autant plus préoccupants que ce phénomène représente un enjeu majeur en termes de santé publique. « Il faudrait mieux prendre en considération la place de l’environnement dans l’antibiorésistance, c’est tout l’enjeu de l’approche One health qui considère la santé humaine, animale et environnementale comme une seule santé », conclut Patricia Licznar-Fajardo. 

* HSM (UM - CNRS - IRD)



16
Des économies au compte-goutte

18
Des eaux et débats

20
Aquifère ! Aquifère !
Est-ce que j’ai une gueule d’aquifère ?

22
Le CHARM de l’eau

DES ÉCONOMIES au compte-goutte

✓ Irriguer les cultures avec des eaux usées ? Installer des compteurs d'eau connectés pour les agriculteurs ? Des pistes que les chercheurs explorent pour préserver les ressources en eau dont le secteur agricole est un gros consommateur.



▲ Culture maraîchère irriguée avec des eaux usées dans des bacs hors sols sous serre

▲ Parcelle viticole irriguée avec des eaux usées traitées

Fermer le robinet quand on se brosse les dents. Limiter le temps passé sous la douche. Autant de gestes quotidiens pour réduire notre consommation d'eau. Bien, mais nettement insuffisant à l'échelle globale, surtout quand on sait que 50 % de l'eau consommée en France est utilisée par le secteur agricole. Un chiffre qui grimpe à 70 % à l'échelle mondiale.

« C'est un gros enjeu car les besoins d'irrigation augmentent avec le réchauffement climatique, notamment en remontant vers le nord où on doit désormais arroser certaines cultures qui pouvaient s'en passer jusqu'à présent », explique Nassim Ait-Mouheb*. Partout la nécessité d'irriguer se fait sentir plus tôt dans l'année, et il concerne de plus en plus de cultures. « C'est notamment le cas de la vigne dont l'irrigation est désormais autorisée en France », précise le chercheur, spécialiste de mécanique des fluides et de génie des procédés appliqué aux techniques d'irrigation.

Et c'est justement un procédé ingénieux qu'il met en œuvre pour contribuer à réduire la pression sur la ressource en or bleu : la réutilisation des eaux usées traitées, plus communément qualifiée par l'anglicisme *reuse*. L'idée est simple : utiliser des eaux usées non potables à la sortie des stations de traitement pour irriguer les cultures afin de réserver les eaux de bonne qualité pour la consommation. « Une solution pour éviter dans certains cas les conflits d'usage dans un contexte où les ressources risquent d'être limitées. »

* G-EAU (Cirad - AgroParisTech - IRD - Inrae - Institut Agro)

** CEE-M (UM - CNRS - INRAE - Institut Agro)

Laboratoire grandeur nature

Si l'alternative est intéressante, sa mise en œuvre représente un véritable défi auquel s'est attelé le chercheur du laboratoire G-EAU. Challenge technologique, volet agronomique, enjeux sanitaires, acceptation sociale... la réutilisation des eaux usées pour l'agriculture soulève de nombreuses questions.

Pour y répondre Nassim Ait-Mouheb dispose d'un laboratoire grandeur nature. Une petite parcelle de vigne, oliviers et fruitiers nichée à Murviel-Lès-Montpellier, qui héberge une plateforme expérimentale de réutilisation d'eaux usées traitées en irrigation en goutte à goutte. « Un système de conduites qui courent au sol avec des goutteurs, c'est une technique de plus en plus utilisée qui peut engendrer des économies d'eau, à condition de bien la mettre en œuvre et d'assurer son efficacité et sa durabilité, notamment en évitant le risque de colmatage par des biofilms ». Autrement dit le risque que tous ces dispositifs se retrouvent bouchés par des amas de bactéries ou autres micro-organismes qui peuplent les eaux usées...

Grâce à cette plateforme unique en France créée en 2017, les chercheurs peuvent tester en conditions réelles les effets de ce type d'irrigation : « Nous disposons d'une parcelle agricole et d'un terrain expérimental avec des bacs hors-sol où nous pouvons irriguer les cultures soit avec des eaux usées qui ne sont pas passées par la station d'épuration, soit avec des eaux claires », détaille Nassim Ait-Mouheb. Objectif : observer les effets de la qualité de l'eau sur les cultures, du point de vue agronomique comme sanitaire.

Bémols

Sur le terrain agronomique, la surprise est plutôt bonne : « on obtient de bons rendements grâce aux nutriments comme l'azote, le phosphore ou le potassium que l'on retrouve naturellement dans les eaux usées », détaille le spécialiste. Du point de vue sanitaire, les chercheurs scrutent salades et poireaux à la recherche de résidus d'antibiotiques, d'Escherichia Coli ou d'entérocoques. « Les indicateurs pathogènes sont un point clé de nos études », précise Nassim Ait-Mouheb. Autre paramètre à prendre en compte : les effets de l'irrigation avec des eaux usées sur les sols, « qui peut être problématique à cause de leur salinité qui a terme risque d'altérer la qualité des sols ».

« La réutilisation des eaux usées représente un levier intéressant pour réduire la consommation d'eau du secteur agricole, mais de nombreux bémols doivent être pris en compte avant de passer de la théorie à la pratique. » A Murviel-les-Montpellier, les bémols sont pris à bras le corps, pour faire de la *reuse* une solution d'avenir. Actuellement en France, moins de 5 % de l'eau usée traitée est réutilisée, et pour des usages très restreints. 



Irrigation 2.0

Pour réduire leur consommation d'eau, certains agriculteurs ont adopté un compteur communicant. Sa particularité ? Il leur permet de connaître en temps réel leurs prélèvements, pour mieux piloter leurs arrosages et faciliter ainsi le partage de l'eau sur un réseau commun. Autre intérêt : ces compteurs fournissent aux gestionnaires des mesures fréquentes et précises des consommations. Des données précieuses pour réguler les ouvrages hydrauliques et optimiser les lâchers d'eau des réservoirs. « Il faut donc qu'un nombre suffisant d'agriculteurs optent pour ce dispositif pour qu'il soit efficace », explique Raphaële Préget. Mais aujourd'hui une minorité d'agriculteurs en sont équipés. »

Comment les inciter à adopter un compteur communicant ? C'est la question que s'est posée la chercheuse du CEE-M** (Centre d'économie de l'environnement de Montpellier) dans le cadre du projet C4EAU. « Nous avons interrogé 1 272 agriculteurs pour tester différents mécanismes incitatifs ». Parmi les instruments testés et approuvés, une subvention conditionnelle « qui serait versée aux agriculteurs si et seulement si un certain nombre d'entre eux adoptent le compteur communicant. C'est une façon de lancer une dynamique collective de changement en jouant sur les normes sociales », détaille Raphaële Préget.

Dans le cadre de ces approches d'économie comportementale, les chercheurs ont également testé différents « nudges », des petits coups de pouces, ou « incitations non monétaires qui visent à orienter les choix sans les contraindre », précise la chercheuse. Un exemple de nudge ? « Nous leur avons communiqué le témoignage d'un agriculteur équipé qui vante les bienfaits des compteurs communicants. » Des outils incitatifs efficaces, pour aller vers plus de coopération, indispensable à la gestion d'une ressource commune.



© Jacob Lund

A quelques mois des élections présidentielles, quelle est la place selon vous de l'eau dans le débat public et politique en France ?

S.B : Relativement discrète... Les seules formations politiques qui en ont fait un vrai sujet de campagne sont La France insoumise, sous l'angle du bien commun, et Europe Ecologie Les Verts, sous l'angle de la protection des milieux.

Comment expliquez-vous que cette question mobilise si peu les citoyens ?

P.L.M : On a vu avec les pénuries d'eau en 2015 à Sao Paulo ou au Cap en 2017, que la mise en débat est immédiate quand l'eau potable vient à manquer. Ce n'est pas encore le cas en France. Par ailleurs, l'eau représente un poste de budget beaucoup moins important que l'énergie ou la téléphonie y compris pour les entreprises. Mais ce constat d'une faible politisation doit être relativisé : un peu partout en France, des associations luttent pour la préservation de la ressource et le sujet de l'eau agricole notamment, commence à mobiliser largement.

Le débat se cristallise souvent sur l'eau potable alors que justement ces politiques de l'eau couvrent un spectre beaucoup plus large. Pourquoi ?

S.B : L'eau potable, l'assainissement, ce qu'on appelle le petit cycle de l'eau, est la politique la mieux identifiée par les citoyens. Le grand cycle ou cycle naturel, qui concerne les cours d'eau, les milieux naturels, les nappes souterraines, suscite moins de débats. L'une des raisons est que le petit cycle affecte souvent plus directement la vie quotidienne.

On parle pourtant de gestion intégrée de la ressource en eau (GIRE) ?

P.L.M : Oui, la politique de l'eau en France suit toujours le référentiel de la GIRE qui s'est imposé à l'international dans les années 90. Cette gestion cherche à concilier tous les usages à l'échelle d'un grand bassin versant, d'un grand fleuve. Dès le départ, ce mouvement s'est basé sur l'idée que les usagers et les entreprises doivent participer à la gestion de l'eau et ne pas laisser l'État seul responsable des politiques de l'eau.



Alors que l'eau est un enjeu mondial majeur, les politiques de l'eau restent, elles, assez absentes du débat public et sont souvent méconnues des citoyens. Quelles sont les logiques qui construisent ces politiques, quels rapports de force les traversent ? Explications avec Sylvain Barone et Pierre-Louis Mayaux, chercheurs en science politique au sein de G-EAU* et auteurs du livre *Les politiques de l'eau*.



Et comment se traduit-elle cette implication des usagers ?

S.B : La France a été pionnière dans ce domaine en mettant en place dès les années 1960 des comités de bassin à l'échelle des grands bassins hydrographiques. Ce sont des instances délibératives qui associent élus, services de l'État et représentants d'usagers de l'eau. Elles jouent un rôle majeur dans l'orientation des politiques de l'eau. Mais ce type de dispositif, qu'on retrouve aussi au niveau local, ne doit pas masquer l'existence de stratégies de négociations beaucoup plus discrètes entre certains acteurs.

Ces dernières années on a plutôt l'impression que les citoyens réclament davantage de public et moins de privé...

P.L.M : Oui, on observe un vrai mouvement de retour en régie, depuis l'expérience pionnière de Grenoble au début des années 2000 : Paris, Bordeaux, Montpellier, Nice... Quand ce n'est pas encore fait, c'est à l'agenda, dans les programmes des partis verts et des partis de gauche en général. En Amérique du Sud on a vu aussi naître quelques grands mouvements de protestation contre les grands acteurs privés de l'eau jusqu'à l'annulation emblématique du contrat de Suez à la Paz en 2005.

Ces multinationales de l'eau Veolia, Suez, la Saur, elles sont françaises d'ailleurs...

P.L.M : Oui, pour des raisons historiques assez complexes, la France a une grande expérience en matière de gestion privée de l'eau, ce qui est assez amusant puisque dans l'imaginaire, on associe souvent la France à l'État ; or à l'échelle mondiale c'est justement un des rares pays à avoir développé un secteur privé très puissant dans le petit cycle de l'eau. Quand la banque mondiale parle du modèle français, c'est le modèle de la gestion privée.

N'est-ce pas aussi parce que l'eau est un sujet technique qu'on l'abandonne au privé ?

S.B : Je dirais en préambule qu'il ne faut pas abandonner la technique aux techniciens ! C'est un vrai enjeu de démocratie. Le discours sur la technicité de l'eau arrange certains acteurs qui s'en servent pour marginaliser les élus et les citoyens. Pour répondre à votre question, la technique n'est pas l'apanage du privé et n'est

pas le seul argument dans ce débat. Il y a notamment une demande de transparence avec l'idée, qu'il faudrait nuancer d'ailleurs, qu'une gestion publique serait en soi moins opaque.

Les politiques de l'eau en France sont pilotées par le Ministère de l'environnement. Mène-t-on une politique écologiste ?

P.L.M : La question environnementale est beaucoup plus forte à l'agenda en France et en Europe que dans le reste du monde où la tendance est plutôt à la logique de l'offre pour assurer la pérennité des activités économiques. On va chercher toujours plus d'eau, toujours plus loin sans interroger la consommation. On voit les méga-barrages de la Chine à l'Éthiopie, au Maghreb ou dans l'ouest des États-Unis...

Pourtant là aussi vous mettez en garde...

S.B : Depuis 30 ans, les politiques de l'eau se présentent de plus en plus comme des politiques environnementales. Elles ont produit des effets positifs incontestables pour les milieux naturels. Pensez à tout ce qui a été fait en matière d'assainissement. Mais la marche vers l'écologisation demeure à tout moment réversible. La relance de la politique de retenues d'eau pour l'irrigation agricole, poussée par de puissantes coalitions d'acteurs, illustre bien les rapports de force et de pouvoir qui structurent ces politiques.

Quel intérêt les pouvoirs publics ont-ils à invisibiliser ces questions ?

S.B : Garder des « boîtes noires » fermées, c'est protéger des négociations, voire des compromis historiques entre l'État et certains groupes sociaux. Les ouvrir, c'est prendre le risque de fragiliser ces compromis, et peut-être de susciter des mobilisations collectives. 

* G-EAU (Cirad - AgroParisTech - IRD - Inrae - Institut Agro)

Aquifère ! Aquifère ! Est-ce que j'ai une gueule d'aquifère ?



Lucie Martin, ingénieure d'étude à l'Inrae
dans le puit karstique du Mas Gimel
© Rémi Müller

Amazone, Nil, Congo ou Yangzi Jiang, autant de fleuves dont le gigantisme fascine autant qu'il effraie et pourtant, « l'eau contenue par les rivières, les fleuves et les lacs constitue à peine 1 % du stock d'eau douce liquide sur Terre » explique Séverin Pistre, chercheur à HydroSciences Montpellier*. Où peuvent donc bien se loger les 99 % d'eau restants ? Sous nos pieds ! Et plus exactement dans l'écorce terrestre qui, avec une composition approchant les 20 à 25 % d'eau, forme le premier réservoir d'eau douce de la planète. Une ressource de qualité, souvent bien moins polluée que les eaux de surface car abritées dans ce que les spécialistes nomment : des aquifères.

Pliée en karsts

Oubliez les mers et les grands lacs souterrains décrits par Jules Verne, le terme aquifère, littéralement « qui porte l'eau », désigne plutôt des ensembles de roches dans lesquels l'eau de pluie s'infiltre et circule. On en distingue trois types selon

la nature des sols où ils se forment : « il y a des aquifères où l'eau pénètre dans les pores des roches comme dans des graviers ou dans du sable, détaille l'hydrologue, d'autres où elle va circuler dans des roches plus dures et donc emprunter des fissures ou se loger dans des interstices ». Si ces deux types d'aquifères sont les plus répandus dans le monde, il en reste un troisième, bien connu dans la région : les karsts.

Remontons la pendule de 250 millions d'années. La région est alors occupée par un océan profond. En se retirant, il laisse derrière lui d'épaisses couches de sédiments qui, avec le temps, formeront des roches calcaires. « Dans ces roches carbonatées faciles à dissoudre, l'eau crée elle-même ses espaces, forme des drains, des rivières souterraines puis des sources comme la source du Lez. Les grottes des Demoiselles ou de Clamouse par exemple étaient, avant la baisse du niveau hydrique, remplies d'eau » raconte Séverin Pistre. Des aquifères que l'on retrouve également en Chine, au Vietnam, au Brésil... Dans le monde, une personne sur quatre boit de l'eau karstique.

Aquifères, comment faire ?

De l'eau partout donc et en très grande quantité ! Encore faut-il aller la chercher et pour cela, mieux vaut avoir révisé sa géologie. La France compte à elle seule plus de 30 000 forages déclarés, en Inde ce chiffre monte à plus de 2 millions. Des forages différents selon que l'aquifère visé sera constitué de sable ou de roche dure. « Si on a une roche dure dite "de socle", on sait que l'eau est contenue dans des fissures, à 5 mètres près on peut passer à côté, décrit le chercheur.

Dans le sable ou le gravier la nappe est généralisée et l'endroit du forage peut-être moins précis. » Si la nature du sol n'est pas déjà connue, ce qui est assez rare aujourd'hui en France, le géologue peut avoir recours à la géophysique.

Une des méthodes les plus connues consiste à envoyer un courant électrique dans le sol pour en mesurer la résistivité apparente. « Si le courant se déplace dans des roches qui contiennent de l'eau, celle-ci étant conductrice, il y aura une faible résistance. » Autre possibilité : chercher un forage ou un puits pompant dans la même nappe afin d'en analyser l'eau. En traversant une roche, l'eau va en effet la dissoudre et se charger au passage d'ions, dont l'analyse révélera les roches dont ils sont issus. « On a ainsi constaté que la chimie de la source du Lez change légèrement entre hiver et l'été au moment où la partie la plus superficielle de la nappe s'épuise et que des nappes plus profondes prennent le relais. »

Et ils pompaient, pompaient...

Alors que le monde se prépare à subir une crise de l'eau, pourquoi ne pas davantage exploiter cette manne liquide que recèlent nos sous-sols ? Premier frein à cette exploitation : la préservation de la ressource, en particulier lorsqu'il s'agit d'exploitations d'eau de type « minier » réalisées sur des nappes pouvant mettre des milliers d'années à se recharger. Cela peut être observé en pays arides ou semi-arides qui ont connu des climats plus humides il y a quelques dizaines de milliers d'années. « Si on les exploite on sait que l'eau ne se renouvellera pas. Lorsque les troupes allemandes de l'Afrika Korps ont réalisé des forages en Afrique du Nord, ils ont trouvé des puits artésiens d'où l'eau surgissait sans avoir à pomper. Aujourd'hui il faut aller la chercher à plusieurs dizaines de mètres de profondeur » poursuit Séverin Pistre.

Et si l'essentiel était effectivement invisible pour les yeux ? En France, environ 75 % de l'eau que nous consommons provient des eaux souterraines. Alors que les crises de l'eau s'annoncent, ces grands réservoirs appelés aquifères ne représentent-ils pas une manne trop méconnue et sous exploitée ? Entre méconnaissance ici et risques écologiques ailleurs, l'exploitation durable des aquifères est encore à faire.

« Il faut considérer les aquifères comme des réserves stratégiques »

Autour de la Méditerranée, les aquifères karstiques garantissent au contraire un remplissage très rapide de la nappe grâce à de vastes surfaces d'affleurement et à la porosité des roches limitant le ruissellement. Dans un contexte où les scénarios du GIEC prédisent une multiplication des épisodes de pluies intenses dans la région, les karsts pourraient ainsi devenir des réservoirs d'eau très intéressants. A condition de respecter certaines précautions, car si la perméabilité des karsts permet une recharge rapide des nappes, elle offre également un maigre rempart contre les pollutions. « En France, les politiques connaissent souvent mal les eaux souterraines et s'y intéressent peu. C'est une erreur, il faut considérer les aquifères comme des réserves stratégiques et les inscrire dans une vraie politique de protection de la ressource comme le préconisent les agences de l'eau » conclut l'hydrogéologue. ¹¹

*HSM (UM - CNRS - IRD)



© IRD - Seydina Ousmane Boye



L'eau est une des trois thématiques proposées aux étudiants du master européen Charm-EU. La chaire Unesco « Eau, femmes et pouvoir de décision » basée à Abidjan est partenaire de cette prochaine promotion qui devra se jeter à l'eau pour relever un défi de société bien concret.

Le CHARM de l'eau

Abidjan, Côte d'Ivoire. Vous vivez dans un quartier pauvre situé à quelques mètres du lit de la rivière. Dans quelques jours, la saison des pluies viendra et avec elle les orages convectifs tels qu'on en connaît parfois sur l'arc méditerranéen. Sauf qu'ici la pluie et les ruissellements durent plusieurs semaines et que les habitants ne sont ni préparés, ni équipés pour y faire face. Comment vous y prendriez-vous pour mettre votre famille et vos voisins à l'abri ? Information complémentaire : vous êtes une femme.

Voici un des challenges qui pourrait être proposé aux étudiants de la prochaine promotion du master européen Charm-EU. Ici pas de cours magistraux « *mais de vrais défis de société à relever en lien avec les problématiques de développement durable, que ce soit au Nord ou comme ici au Sud* » explique l'hydrologue et enseignante Valérie Borrell*. Et pour cela, la chercheuse déjà associée au centre Icireward a eu l'idée de faire appel à Euphrasie Kouassi-Yao, titulaire de la chaire UNESCO « Eau, femmes et pouvoir de décision » située à Abidjan ainsi qu'à son administrateur général Alexis Tchiakpe.

Favoriser « l'empowerment » des femmes

Cette chaire, créée en 2006, promeut un système intégrant la recherche, la formation et la sensibilisation dans le but d'associer les femmes, premières utilisatrices de l'eau, à la gestion de la ressource en Afrique. « *Cela passe par la formation des femmes à la gestion de l'installation d'eau dans un village par exemple. Cela leur donne une place reconnue dans la société et participe d'une forme d'empowerment* » explique Valérie Borrell.

La chaire propose également un master dédié aux professionnels de l'eau en Afrique qui souhaitent se former aux questions de genre pour mieux identifier les leviers à actionner. « *Sur certains créneaux, les étudiants de Charm-EU rejoindront, en visioconférence, ces étudiants africains pour travailler sur des problèmes concrets* » déclare Valérie Borrell. Les étudiants du

diplôme d'université Expertise numérique pour la protection des populations et des milieux dans les métropoles du Sud pourraient aussi être associés à ce défi afin d'apporter leurs compétences techniques d'ingénierie.

Apprendre à écouter les acteurs

Comment ces étudiants africains, européens et internationaux seront-ils invités à construire des solutions ? « *Par la collaboration et le partage d'expérience. Il ne s'agit pas d'imposer son point de vue, mais de s'écouter pour innover ensemble* » déclare la chercheuse. Pour associer les populations, les étudiants devront également se doter d'outils : brainstorming, jeux sérieux... La pédagogie innovante promue par Charm-EU ouvre ici les portes à de multiples possibilités dans la logique du living lab.

« *Si on retient le cas des inondations, nous pouvons concevoir un jeu sérieux mais accessible qui permettra aux jeunes femmes de s'exprimer sur ces questions, poursuit l'enseignante. Comment vivent-elles les inondations ? Quelles sont leurs observations ? Comment sensibiliseraient-elles leur famille aux gestes qui protègent ? Notre objectif est de faire en sorte que les femmes se projettent dans un rôle qu'elles ont envie de tenir, utile pour la société et que nos étudiants eux, apprennent à coconstruire des solutions innovantes et équitables.* »

*HSM (UM - CNRS - IRD)



24
« Vous n'avez jamais vu un flamant rose devant un tribunal »

26
Dangereux dégel

28
Champions de la détoxification

30
Avant nous le déluge

« Vous n'avez jamais vu un flamant rose devant un tribunal »



Quelle est la place de la protection de l'environnement dans le droit français ?

Nous avons aujourd'hui une culture anthropocentrique de l'environnement. Nous en sommes le centre, vous, moi, les humains. Je vous donne un exemple : vous êtes sur une route de montagne, un camion-citerne se renverse et laisse échapper des produits hautement toxiques. Autour il y a des troupeaux, les vaches meurent ; il y a du maraîchage, plus de salade ; il y a un verger, plus d'arbres fruitiers. Pire ! 10 km en dessous, il y a un captage d'eau potable qui risque d'être contaminé. Que faut-il faire ?

J'imagine qu'il faut dépolluer ?

Evidemment, car il y a danger ! Danger pour les vaches, pour les salades, pour les arbres fruitiers et peut-être même pour moi puisque l'eau que je bois le matin risque d'être contaminée. Imaginez maintenant que la substance toxique se loge dans une poche géologique argileuse non poreuse. Va-t-on dépolluer ? Non car cette pollution ne porte alors atteinte aux intérêts de personne. C'est l'expression d'une vision anthropocentrique de l'environnement et de la pollution.

Quelle est la définition juridique de la pollution ?

La pollution est une atteinte portée au patrimoine d'une personne. En cas de marée noire par exemple les associations de protection des oiseaux ont demandé réparations pour les frais engagés, les communes demandent réparation pour la baisse de fréquentation du tourisme...



Quels outils le droit français offre-t-il aujourd'hui pour protéger les intérêts d'éléments naturels tels que les rivières et les fleuves ou pourquoi pas un arbre ou un flamant rose ? Quelles réparations peuvent-être exigées en cas de pollution ? Et d'ailleurs la réparation peut-elle être encore considérée comme une solution ? Éléments de réponse avec Catherine Ribot*, professeure spécialisée en droit de l'environnement.

Le préjudice écologique est-il le préjudice fait à la nature elle-même ?

Vous n'avez jamais vu un flamant rose devant un tribunal demander réparation des dommages qui lui ont été causés par la pollution de l'étang où il vit. Ce flamant rose est peut-être le seul survivant de son nuage de flamants roses, après un épisode de pollution. De quelle manière reconnaît-on un préjudice qui ne soit pas seulement la réparation du coût causé par cette pollution mais bien la réparation du coût subi par l'environnement.

Aujourd'hui le droit a évolué sur ce point ?

Cela a été compliqué mais finalement l'article 4 de la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité inséré dans le code civil de nouvelles dispositions prévoyant l'existence du préjudice écologique et affirmant que celui-ci doit d'abord être réparé en nature. Cela oblige, on peut toujours critiquer, un autre rapport à l'environnement.

Mais alors qui peut porter la demande de réparation pour le flamant rose ?

Une association, par exemple, va pouvoir demander réparation de ce préjudice. On en parle beaucoup en ce moment, pas tellement à propos de l'eau mais à propos du contentieux climatique avec « L'affaire du siècle »... On voit également une évolution avec les premiers états qui admettent la reconnaissance de droits à des éléments naturels. La Nouvelle-Zélande a reconnu le fleuve Whanganui comme sujet de droit en 2017. En Inde, le Gange s'est également vu reconnaître certains droits...

La personne morale qu'est-ce que c'est exactement ?

Une personne morale a la qualité de sujet de droit. Vous êtes sujet de droit, je le suis, nous pouvons demander réparation des préjudices qui nous sont causés. En France, un arbre n'est pas sujet de droit. Un arbre peut vous appartenir, c'est un élément de votre patrimoine et, à ce titre, vous pouvez demander réparation s'il subit un dommage. L'arbre en lui-même n'est pas sujet de droit, ce n'est pas ancré dans notre tradition.

Et la notion de bien commun, qu'apporte-t-elle ?

Il y a l'article L210-1 du code de l'environnement qui dit que l'eau est un élément du patrimoine commun de la Nation. Concrètement, un citoyen peut considérer que le Lez est un élément de son patrimoine mais, techniquement et juridiquement, cela ne supporte pas une action contentieuse. Parce que, finalement, que demanderait ce citoyen ?

Oui et d'ailleurs comment peut-on fixer la valeur d'un bien commun ?

Il va d'abord être nécessaire de définir ce qu'est un bien commun. Est-ce qu'un animal peut-être un bien commun ? Vous vous rappelez l'ourse Cannelle ? C'était le dernier ours des Pyrénées, c'est une espèce qui n'est plus. Le chasseur qui l'a tuée peut, peut-être, faire intervenir son assureur mais quel frais va-t-il rembourser, quel préjudice va-t-il réparer ? Quand trois tonnes de poissons se retrouvent le ventre à l'air à cause d'une pollution, a-t-on tout réglé quand on a payé pour nettoyer les berges et re-alviner le plan d'eau ? Peut-être que l'atteinte à l'intégrité de l'eau ne se résume pas dans le versement d'indemnités ou dans le reempoisonnement. C'est un fait social qui doit, peut-être, être envisagé autrement.

C'est une question de prise de conscience plus que de droit alors ?

Il y a des instruments juridiques, des mécanismes protecteurs existent mais notre prise de conscience n'est pas aboutie. Aujourd'hui, cette logique commence à choquer les jeunes générations qui estiment que la seule réparation ne suffit pas. Ces nouvelles générations trouveront les moyens nous permettant de penser autrement. Le droit va changer, les juristes aussi.

*CREAM - Centre de recherches et d'études administratives de Montpellier (UM)

Danger de dégel



La température grimpe, et la glace fond, déversant aujourd'hui des centaines de litres d'eau dans les cours d'eau. Mais demain ? Pour mieux anticiper les conséquences de la fonte des glaciers sur la disponibilité de la ressource en eau, les hydrologues cherchent à appréhender plus finement la dynamique de ces immenses masses glaciaires.

De la glace à perte de vue, sur plus de 100 000 km². Des sommets qui culminent à plus de 8 000 mètres d'altitude. Bienvenue au « troisième pôle », immense étendue glaciaire qui serpente sur 3 600 kilomètres entre l'Afghanistan et la Birmanie. « C'est la troisième masse glaciaire continentale la plus importante au monde après l'Antarctique et le Groenland », explique Pierre Chevallier*. Cette région, l'hydrologue la connaît bien pour l'avoir arpentée à maintes reprises. Des missions de terrain indispensables pour mieux connaître ces glaciers qui alimentent dix cours d'eau majeurs d'Asie dont dépendent plus d'un milliard d'habitants, dans les montagnes comme dans les bassins fluviaux situés en aval.

Un troisième pôle aujourd'hui menacé par le réchauffement climatique. D'après une étude publiée en 2019 par l'International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), les deux tiers des glaciers de l'Himalaya et de l'Hindou Kouch pourraient fondre d'ici à la fin du siècle si la planète restait sur la même trajectoire d'émissions de gaz à effet de serre. « Lorsque les températures augmentent, non seulement il y a moins de glace qui se forme au sommet du glacier, mais de surcroît la fonte au bas du glacier s'intensifie. D'ores et déjà dans les montagnes de l'Himalaya et du Karakoram, certains glaciers reculent », précise le spécialiste.

Incertitudes

Pour mieux appréhender ce phénomène, le chercheur du laboratoire Hydros-cience Montpellier et ses collaborateurs ont rassemblé les résultats de plus de 250 articles scientifiques. Leur objectif : mieux comprendre les liens entre réchauffement climatique, changement des précipitations et retrait des glaciers. « La situation est difficile à appréhender et de nombreuses incertitudes subsistent concernant notamment les observations de terrain ou les données de télé-détection, mais aussi les outils de modélisation et leurs hypothèses et scénarios », explique Pierre Chevallier.

Le devenir de ces géants de glace est pourtant un paramètre primordial dans la région, en particulier pour le bassin de l'Indus dont 50 % des ressources en eau proviennent directement de la neige et des glaciers, alors que les bassins

voisins du Ganges et du Brahmapoutre sont davantage dépendants des pluies de la mousson. « Avec la fonte des glaciers, le débit des cours d'eau augmente et donc dans un premier temps il y a davantage d'eau disponible. Puis quand le glacier diminue et se rétrécit il va restituer moins d'eau et la ressource va alors s'amenuiser », raconte l'hydrologue.

Optimiser la gestion de l'eau

Une inquiétude majeure quand on sait que dans certains pays comme le Pakistan, près de 80 % des ressources en eau disponibles sont utilisées pour l'agriculture. « Une grande partie de l'eau de fonte des glaciers est puisée dans les rivières en aval pour irriguer la production agricole des grandes plaines, véritables greniers à céréales. » Et au-delà des préoccupations liées aux quantités d'eau nécessaires, cet usage pose un important problème de timing : « la fonte de la neige et de la glace intervient normalement au printemps, au moment où les agriculteurs en ont le plus besoin pour la germination des céréales, si l'eau venait à manquer à cette période de l'année cela serait particulièrement critique », alerte l'hydrologue.

Face à ce risque, les spécialistes appellent à anticiper cette pénurie pour optimiser la gestion de la ressource en eau et son partage. « Dans un contexte où la disponibilité de la ressource fluctue sur l'année, il faut pouvoir assurer un approvisionnement satisfaisant, notamment grâce à la gestion des barrages qui par exemple ne doivent pas être pleins pour pouvoir stocker l'eau issue de la fonte des glaces », souligne Pierre Chevallier.

Réduire l'incertitude

Mais pour mieux anticiper, les chercheurs manquent encore de données comme l'a mis en évidence leur étude publiée dans *Science*. « Pour combler ces lacunes nous recommandons de mettre en place un réseau d'observation étendu qui place des stations météorologiques entièrement automatiques sur des glaciers sélectionnés », explique l'hydrologue. Mais également de développer des projets de comparaison pour examiner la superficie et les volumes des glaciers, leur dynamique, le dégel du pergélisol et la sublimation de la neige et de la glace.

Des données indispensables pour réduire l'incertitude des scénarios de changements futurs. « Ce consensus sur la glacio-hydrologie de la région aidera les décideurs politiques à planifier de manière optimale la gestion de la demande et de l'approvisionnement en eau pour l'agriculture, mais aussi l'hydroélectricité, les usages des ménages et l'assainissement, note Pierre Chevallier. Cette anticipation est d'autant plus importante que les pays concernés sont en pleine croissance économique et démographique, ce qui s'accompagne d'une augmentation de la demande en eau. » 

* HSM (UM - CNRS - IRD)

Shomare, Népal

© IRD - CNRS - Thibaut Vergoz, PRESHINE 2017

Champions de la **détoxification**



© Jacques Gardon



Une détoxification efficace

Si l'on absorbe de l'eau contenant de l'arsenic dissout, il est chimiquement modifié dans notre foie afin d'en favoriser l'élimination par les reins. Cette modification implique un processus appelé « méthylation » qui transforme l'arsenic élémentaire soit en monométhylarsenic, soit en diméthylarsenic. Si la première forme est mal éliminée par l'organisme, la deuxième l'est plus facilement, et elle est donc moins associée à des symptômes sévères. C'est justement ce diméthylarsenic que les chercheurs retrouvent en majorité dans les urines des Urus. En cause : une mutation sur le gène codant pour l'enzyme impliquée dans ce processus de méthylation, appelée arsenic méthyltransférase, qui favorise la transformation en diméthylarsenic et expliquerait l'efficacité du processus de détoxification de l'arsenic chez les Urus.

Arsenic, un mot à la sonorité presque romanesque pour une substance qui a connu ses heures de gloire, à la cour de Louis XIV comme dans la famille Borgia. Un poison pourtant toujours tristement d'actualité : « la consommation d'eau contaminée à l'arsenic est un problème de santé publique qui concerne environ 140 millions de personnes dans le monde », rappelle Jacques Gardon. Depuis plus de 5 ans, l'épidémiologiste du laboratoire HydroSciences* s'intéresse aux effets de l'arsenic sur la santé des populations boliviennes, plus précisément chez les Urus qui vivent sur les rives du lac Poopó.

Là-bas, le chercheur a trouvé des taux d'arsenic dans l'eau jusqu'à 80 fois supérieurs aux normes de l'OMS. « La limite est fixée à 10 microgrammes par litre. Dans certains puits nous avons mesuré jusqu'à 800 microgrammes par litre », explique-t-il. Mais d'où vient cet arsenic ? « Il est naturellement présent dans la croûte terrestre et les minerais de nombreuses régions, et il peut contaminer les nappes phréatiques suite à l'érosion des sols », explique Jacques Gardon. Un processus naturel aggravé dans certaines régions par l'exploitation minière comme c'est le cas en Bolivie, où les mineurs broient l'arsénopyrite pour en extraire les métaux et rejettent l'arsenic qui va contaminer sédiments, rivières, nappes phréatiques... et puits.

Puits superficiels

« Les populations locales se procurent leur eau potable grâce à des puits traditionnels superficiels ou des puits tubaires peu profonds. Malheureusement la Bolivie ne dispose pas de cartographie de la qualité chimique de l'eau en ce qui concerne l'arsenic et les habitants consomment une eau qui en contient des concentrations parfois inquiétantes » détaille le médecin.

Avec quelles conséquences sur leur santé ? « L'ingestion chronique d'arsenic provoque des cancers, dégrade l'appareil cardio-vasculaire, abîme les reins et peut favoriser la survenue d'un diabète », répond Jacques Gardon. L'arsenic provoque

également des lésions caractéristiques au niveau des mains et des pieds : un épaississement de la peau ou hyperkératose, typique de l'arsénisme et qui peut évoluer en cancer. Les mains des Urus du lac Poopó, Jacques Gardon les a bien regardées. Des mains étonnement normales. « Elles ne présentent pas ces manifestations cutanées. »

Comment expliquer l'absence de ce symptôme si caractéristique malgré tant d'arsenic ? « Une équipe de chercheurs suédois a étudié une situation similaire dans certains villages du nord de l'Argentine, ils ont émis l'hypothèse qu'il pourrait s'agir d'une adaptation au poison », détaille le chercheur. Au fil des générations, les habitants seraient devenus de plus en plus aptes à éliminer l'arsenic.

Éliminer l'arsenic

Pour vérifier cette théorie, Jacques Gardon, accompagné de collègues suédois et boliviens, a mesuré les teneurs en arsenic et dérivés de l'arsenic dans les urines de 200 femmes vivant dans dix villages disséminés autour du lac Poopó. « Nous nous sommes focalisés sur les femmes car les hommes, qui quittent souvent le village pour aller chercher du travail ailleurs, ne subissent pas la même exposition à l'arsenic », explique le médecin.

Et de l'arsenic dans leurs urines, les chercheurs en ont bel et bien trouvé, sans surprise. Ce qui en revanche s'est avéré surprenant, c'est la forme chimique de l'arsenic identifiée. « Il faut savoir que l'arsenic existe sous plusieurs formes distinctes (lire encadré), dont l'une est moins toxique et plus facile à éliminer que les autres. En population générale la forme chimique la moins toxique représente en moyenne 60 % de l'arsenic trouvé dans les urines, mais chez les femmes Urus cette proportion atteint 80 % », s'étonne Jacques Gardon. Ce qui veut dire que leur métabolisme est particulièrement efficace pour éliminer le poison.



Chaque jour, ils boivent de l'eau fortement contaminée à l'arsenic. Et pourtant ces habitants de l'Altiplano en Bolivie ne semblent pas en souffrir... Une énigme sur laquelle s'est penché l'épidémiologiste Jacques Gardon qui nous dévoile comment ils se seraient adaptés à ce poison.

Adaptation au poison

Pour expliquer cette efficacité hors du commun, les chercheurs se sont penchés sur le génome des habitants et ont mis en évidence une mutation sur un gène qui contrôle la détoxification de l'arsenic. « Normalement cette mutation se retrouve chez environ 20 % de la population, mais nous l'avons retrouvée chez 80 % des gens dans ce peuple andin », détaille le chercheur. Une mutation probablement sélectionnée au cours du temps, les Urus devenant de génération en génération de plus en plus aptes à éliminer l'arsenic. « C'est le premier exemple mis en évidence d'adaptation humaine à un toxique », s'enthousiasme Jacques Gardon.

« La plupart de ces gens boivent de l'eau contaminée sans le savoir »

Un enthousiasme de chercheur rapidement tempéré par les préoccupations du médecin : « mieux comprendre les relations entre exposome et génome est passionnant, mais ce qui compte avant tout c'est de favoriser l'accès à l'eau potable de toutes les populations ». Filtration, échanges d'ion, oxydation, dilution... de nombreuses techniques efficaces existent en effet pour éliminer l'arsenic de l'eau. « L'arsenic n'a ni couleur, ni saveur, ni odeur, la plupart de ces gens boivent de l'eau contaminée sans le savoir, c'est un vrai problème de santé publique, et notre rôle c'est aussi d'y remédier ». ^{AP}

* HSM (UM - CNRS - IRD)



Avant nous **le déluge**

15 octobre 2018 : des trombes d'eau s'abattent en une nuit sur l'Aude. Le bilan est lourd : 13 morts. En 2015 déjà, 20 personnes avaient perdu la vie à Mandelieu-la-Napoule dont une dizaine piégées dans leur voiture par la subite montée des eaux. Comment expliquer la survenue de ces orages si violents et soudains ? Par un conflit entre les masses d'air chaud et humide de la mer et l'air froid en altitude venu des Cévennes, d'où leur nom : les épisodes cévenols.

« En détectant ces masses d'air chaud dès leur formation en mer et avec une chaîne de transmission de données très rapide, nous pourrions mieux anticiper ces épisodes et mieux protéger les populations » explique Laurent Dusseau*. Et pour accomplir cette mission, le directeur du centre spatial universitaire de Montpellier (CSUM) a déjà son héraut ! Robusta 3A Méditerranée, un nanosatellite de 30 cm de haut, entièrement conçu par le CSUM grâce au concours de plus de 150 étudiants, apprentis et stagiaires depuis 2013 et au soutien de la fondation Van Allen, fondation partenariale de l'Université de Montpellier.

Capteurs mobiles

Détecter des masses d'air humides n'est pas nouveau. Météo-France, partenaire du projet, dispose déjà de capteurs utilisant les signaux émis par les systèmes de navigation par satellite (GNSS) de nos téléphones. « La présence d'eau dans l'atmosphère modifie ces signaux et permet de calculer la quantité de vapeur à un endroit T », explique Laurent Dusseau. On trouve ainsi plus de 800 capteurs d'humidité sur le sol français. Sur le sol mais pas en mer où se forment les masses d'air à l'origine des épisodes cévenols.

*IES (UM-CNRS)

Faute de pouvoir les anticiper, chaque année ou presque les épisodes cévenols qui frappent l'arc méditerranéen occasionnent de lourds dégâts humains et matériels. Un dispositif ambitieux mobilisant un nanosatellite, un ferry et quelques têtes bien pleines pourrait bien changer la donne dès 2023.

Pour aller chercher ces données au large, les chercheurs vont embarquer un de ces capteurs à bord d'un ferry sillonnant la Méditerranée depuis Sète. Une idée simple pour un défi technologique majeur que relèvent l'École nationale supérieure de techniques avancées (ENSTA Bretagne) et l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), tous deux engagés dans l'aventure. « Le fait que le capteur soit mobile implique beaucoup plus de variables, comme les mouvements des vagues ou du bateau, explique Laurent Dusseau. Une thèse est en cours à l'ENSTA sur cette question. »

Fraîcheur de la donnée

Second défi technologique : la rapidité et la fraîcheur de la donnée. « Pour que l'information captée par Robusta soit valable nous devons démontrer que nous pouvons la traiter et la renvoyer aux utilisateurs finaux en une heure, une heure et demi maximum. » Les utilisateurs finaux ? Météo-France bien sûr mais aussi le service départemental d'incendie et de secours de l'Hérault (Sdis 34) qui a rejoint le projet à l'automne dernier.

Robusta 3A de son côté continue de se préparer pour le grand vol « le prototype a passé la Critical design review, c'est-à-dire que tout le design du satellite a été validé. Nous sommes maintenant dans les phases de test ». Prévu pour la fin de l'année 2022, le lancement du nanosatellite marquera le début d'un voyage qui lui fera survoler la Méditerranée deux fois par jour pendant un an. Et pour la suite ? « Dans le spatial il faut savoir être humble, nous verrons comment se comporte Robusta 3A et s'il le permet, oui nous poursuivrons l'expérience » conclut Laurent Dusseau. 

Jules, 7 ans et demi



Vaut-il mieux boire de l'eau en bouteille ou de l'eau du robinet ?

Merci pour ta question que beaucoup de personnes se posent. D'ailleurs, il y a plusieurs questions en une : est-ce mieux pour le goût, pour la santé, pour l'environnement ?

Pour tes papilles, un goût différent

Les gens choisissent souvent de boire de l'eau en bouteille parce qu'ils pensent qu'elle a meilleur goût que celle du robinet. Le goût de l'eau vient des sels minéraux et des oligo-éléments. Une eau qui vient des nappes souterraines est au contact des roches et aura plus de minéraux qu'une eau qui vient d'une rivière. Les eaux en bouteille proviennent essentiellement des nappes souterraines et des sources alors que l'eau du robinet peut aussi être prélevée dans les lacs, les rivières : c'est le cas de presque 40 % des eaux du robinet en France. L'eau du robinet peut avoir un goût désagréable à cause du chlore utilisé pour la désinfecter, mais il suffit de laisser la carafe d'eau non bouchée dans le réfrigérateur pendant quelques heures : l'odeur et le goût de chlore disparaîtront.

Pour ta santé, l'eau du robinet a tout bon

Les gens pensent souvent que l'eau en bouteille est plus sûre, mais en France, l'eau du robinet est une eau qui est traitée et désinfectée. Elle est contrôlée régulièrement et soumise à des normes sanitaires très strictes qui nous permettent de la boire sans risque tous les jours. On dit donc que l'eau du robinet est potable. Les eaux en bouteille ne sont pas toujours potables, car certaines eaux minérales ne respectent pas forcément ces normes et il n'est pas conseillé de boire la même eau minérale tous les jours. En effet, consommer trop ou pas assez de certains minéraux n'est pas bon pour la santé dans la durée.

Pour l'environnement, limite les bouteilles en plastique

Sache aussi que boire de l'eau en bouteille a plus d'impact sur l'environnement que de boire de l'eau du robinet. L'eau en bouteille passe par une usine d'em-bouteillage, un centre de stockage, des magasins et la voiture du consommateur. En moyenne, on estime qu'elle parcourt 300 kilomètres pour arriver jusqu'à nos verres. Ensuite, une bouteille plastique va terminer sa vie dans un incinérateur, être recyclée (1 bouteille sur 2 est recyclée) et, dans le pire des cas, être laissée dans la nature où elle met entre 100 à 1000 ans pour se dégrader. Pour finir, avoir une eau saine au robinet est un luxe que beaucoup de gens dans certains pays n'ont pas, alors n'hésite pas à la boire !

Yvan Alichenko, hydrogéologue (AgroParisTech UMR GEAU)
et Flavie Cernesson, hydrologue (AgroParisTech UMR TETIS), membres du centre international UNESCO ICIREWARD

Un article en partenariat avec le site *The Conversation*





Université de Montpellier

www.umontpellier.fr