


DOSSIER
**LE FABULEUX
DESTIN D'H₂O**

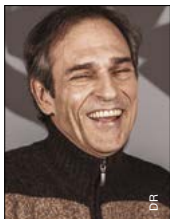




**L'EAU EST AUSSI INDISPENSABLE
À LA VIE QU'ELLE EST SINGULIÈRE.**
C'EST VRAI DE SON COMPORTEMENT
MOLÉCULAIRE MAIS AUSSI DE SA PLACE
DANS LE DROIT, LA MÉDECINE OU
L'HISTOIRE DE L'ART. BRÈVE PLONGÉE
DANS LE MONDE AQUATIQUE EN
COMPAGNIE DES CHERCHEURS
DE L'UNIGE.

Dossier réalisé par Vincent Monnet et Anton Vos

On s'y baigne, on la boit, on l'utilise pour se laver, on voyage dessus... Elle nous remplit mais elle peut aussi nous noyer ou nous tuer en quelques jours si elle est absente. L'eau est omniprésente et indissociable de la vie. Au centre de ce fluide vital se trouve une molécule aux mille visages dont les scientifiques n'ont pas encore fini de faire le tour. Didier Perret, chargé d'enseignement à la Section de chimie (Faculté des sciences) et codirecteur du Chimiscope, propose une première approche de H₂O, une molécule aux talents inégalables et à laquelle on doit tout. ▶



Didier Perret

Chargé d'enseignement et conseiller aux études à la Section de chimie (Faculté des sciences).

Obtient sa licence, son diplôme, son doctorat en chimie et deux masters (chimie de l'environnement et calcul numérique) à l'Université de Genève.

Chercheur en chimie analytique de l'environnement à l'Université de Genève, de Lausanne et à l'École polytechnique fédérale de Lausanne.

Auteur d'une soixantaine de publications et consultant indépendant en environnement pour la Confédération et le canton de Genève.

Campus : Qui est H₂O ?

Didier Perret : C'est une molécule pas comme les autres. Sa forme liquide – qu'on appelle eau – est capable de dissoudre tant de substances qu'elle est qualifiée de « solvant universel ». Quand on la refroidit jusqu'à devenir solide, c'est-à-dire de la glace, elle se dilate tandis que n'importe quelle autre matière naturelle se contracterait. Quand elle est vapeur, elle contribue à l'effet de serre. Et bien sûr, elle représente un élément essentiel à la vie telle qu'on la connaît – c'est d'ailleurs pour cela que les astronomes cherchent à détecter sa présence dans les planètes extrasolaires. Cette molécule possède de nombreuses autres particularités. Les chimistes ont répertorié des dizaines d'anomalies de l'eau par comparaison avec d'autres liquides.

Comment le chimiste explique-t-il la singularité de la molécule d'eau ?

Cela tient avant tout à sa configuration spatiale et électronique. On représente souvent H₂O (c'est-à-dire l'assemblage de deux atomes d'hydrogène et d'un d'oxygène) comme une molécule ayant l'oxygène en son milieu et possédant deux bras ouverts en « V » à l'extrémité desquels sont placés les atomes d'hydrogène. Ce n'est pas faux mais réducteur. En réalité, la molécule possède quatre bras. Les deux autres sont occupés par des paires d'électrons (*voir infographie p. 25*). Du coup, le volume délimité par les extrémités de ces quatre bras forme un petit tétraèdre légèrement déformé.

Est-ce cette disposition spatiale qui confère à la molécule ses caractéristiques uniques ?

Pas seulement. H₂O est aussi un dipôle électrique. La molécule est parfaitement neutre dans son ensemble

mais les charges électriques ne sont pas distribuées de manière équilibrée à sa surface. On peut le comprendre en observant le fameux tableau périodique des éléments. Plus un élément se trouve à gauche dans ce système de classement – mis au point par le chimiste russe Dmitri Mendeleïev en 1869 –, plus il aime donner son électron. Plus il se situe à droite, plus il ressemble au contraire à un aspirateur à électrons. Dans le cas de l'eau, l'hydrogène est tout à gauche et l'oxygène presque à l'extrême droite (si l'on excepte la dernière colonne un peu spéciale formée des gaz rares chimiquement inertes, il n'est dépassé que par le fluor). Au sein de la molécule d'eau, cette différence importante d'affinité pour les électrons se traduit par une concentration électronique plus faible autour des atomes d'hydrogène et plus forte dans les deux bras opposés. Nous sommes donc en présence d'un dipôle assez intense.

Quelle est la conséquence de cette configuration ?

Dès qu'ils le peuvent, les petits tétraèdres d'eau vont s'arranger de manière à ce que les pôles chargés positivement des uns se lient avec les pôles chargés négativement des autres. On appelle cela les « liaisons hydrogène » ou « ponts hydrogène ». Elles (ils) permettent de créer un réseau relativement stable à très grande échelle, comme une espèce de consortium de molécules. Ces liaisons hydrogène ne sont toutefois pas très rigides. Elles sont labiles. À température ambiante, elles se font et se défont sans cesse, ce qui confère à l'eau sa fluidité. Néanmoins, comme chaque molécule est capable d'établir jusqu'à quatre de ces liaisons hydrogène avec ses voisines, cela donne une certaine cohérence au système.

Que se passe-t-il si on chauffe ce bel ensemble ?

UNE GLACE AUX MILLE REFLETS

La glace possède, à petite échelle, une structure cristalline, c'est-à-dire un arrangement régulier des molécules d'eau qu'elle contient. Celle qu'on connaît sur Terre est la plus stable aux températures et pressions qui règnent sur la planète mais il en existe d'autres. Au moins quinze phases cristallines différentes ont été répertoriées. Elles sont en général obtenues à des pressions très élevées et possèdent des propriétés variables.

La glace I (h) compose quasiment toute la glace présente sur Terre, à quelques exceptions près. Sa structure cristalline hexagonale se révèle de façon macroscopique dans les flocons de neige ou de glace qui, même s'ils sont tous uniques, ressemblent à des étoiles comptant toujours six branches.



La glace I (c) possède une structure cubique. Elle existe aussi sur Terre mais elle est très rare. Elle est moins stable que l'hexagonale mais joue un rôle dans la formation de nuages composés de cristaux de glace comme les cirrus. Elle subsiste dans la haute atmosphère à des températures très basses et se transforme en **glace I (h)** vers -33 °C.

La chaleur se traduit par de l'agitation moléculaire qui, au fur et à mesure qu'elle augmente, casse ces liaisons hydrogène et empêche de nouvelles de se former. Les molécules s'éloignent les unes des autres et lorsque la température atteint les 100 °C, elles se transforment massivement en gaz et s'échappent lors du bouillonnement dans des volutes de vapeur d'eau. Il faut noter que même cette dernière est encore composée de « micro-consortiums » de quelques molécules de H₂O, tenues ensemble en de minuscules gouttelettes grâce, une fois de plus, à la liaison hydrogène.

Des gouttelettes qui contribuent à l'effet de serre, dites-vous...

La molécule d'eau, de par sa géométrie et sous l'effet de la température, peut en effet vibrer selon plusieurs modes qui correspondent à des longueurs d'onde situées dans le rayonnement infrarouge. Résultat : la chaleur qui remonte de la surface de la Terre elle-même chauffée par le Soleil est en partie absorbée par la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. En d'autres termes, celle-ci contribue à l'effet de serre naturel. C'est même, de par son abondance dans l'air, le principal acteur – avant le CO₂ – de ce phénomène sans lequel la température sur Terre passerait en dessous des -18 °C. Pour rappel, le CO₂, lui, est le principal responsable de l'augmentation de l'effet de serre causé par les activités humaines depuis le début de l'ère industrielle. Une problématique à laquelle la vapeur d'eau ne contribue pas, tout excès de ce gaz dans l'atmosphère retombant rapidement sous forme de pluie.

Et qu'arrive-t-il quand on refroidit l'eau ?

La chaleur, comme je l'ai dit, donne du mouvement aux molécules. Cela leur permet de se trouver dans des

configurations spatiales qui prennent moins de place, comme si elles « s'imbriquaient » les unes dans les autres. Quand la température diminue, les liaisons hydrogène prennent le dessus. Elles se stabilisent petit à petit jusqu'à se figer à 0 °C pour former de la glace. Cette transition oblige les molécules à s'éloigner les unes des autres afin de pouvoir s'organiser, localement, sous forme de cristaux dont la structure est hexagonale (d'autres orga-

« POUR TOUTES LES AUTRES SUBSTANCES DE L'UNIVERS, LA PHASE SOLIDE EST PLUS 'DENSE' QUE LA PHASE LIQUIDE. »

nisations sont possibles mais elles ne sont pas stables dans les conditions terrestres, lire ci-dessous). C'est un peu comme si, dans une discothèque pleine à craquer, tous les danseurs s'immobilisaient et tentaient soudainement de se ménager un espace vital de la distance d'un bras tendu. Chacun s'écarterait de ses voisins et la foule dans son



DR

La glace II pourrait, selon certains théoriciens, composer une grande partie de l'intérieur de certaines lunes de Jupiter comme Ganymède au même titre que la **glace VII**. Sa structure cristalline est rhomboédrique, c'est un parallélépipède dont les faces sont des losanges.

La glace VII est cubique. Dans une étude parue dans la revue *Science* du 9 mars 2018, des chercheurs rapportent la découverte de ce type de glace sous la forme d'inclusions dans des diamants provenant d'Afrique du Sud, du Congo, de Sierra Leone et de Chine. Ces diamants se sont formés dans la zone de transition du manteau terrestre (entre 410 et 660 km de profondeur) où ils ont probablement piégé de l'eau liquide. L'eau a ensuite cristallisé lors de la remontée vers la surface en raison de la baisse de température et malgré la baisse de pression, laquelle est cependant restée supérieure à 240 000 atmosphères grâce à la grande rigidité du diamant.

La glace IX telle que la décrit l'écrivain Kurt Vonnegut dans le *Berceau du chat* (1963), avec un point de congélation bien au-dessus de la température ambiante à la pression atmosphérique normale, est un matériau totalement



DR

fictif. Dans ce roman, cette glace est stable et, une fois formée, cristallise toute eau liquide avec laquelle elle entre en contact, entraînant une catastrophe mondiale. Dans la vraie vie, la **glace IX** s'obtient à une température de -108 °C et à une pression de 2800 atmosphères.

La glace amorphe n'a aucune structure cristalline. On la trouve notamment dans l'espace. On l'obtient aussi sur Terre en refroidissant très rapidement de petites quantités d'eau.

ensemble occuperait plus d'espace. Ce qui fait chuter la densité, ou plutôt la masse volumique, qui est un terme plus précis.

Qu'y a-t-il de si incroyable à ça ?

Il n'existe aucun autre liquide dans la nature qui ait le même comportement. Pour toutes les autres substances de l'univers, la phase solide est plus « dense » que la phase liquide. Un lingot d'or tombe au fond d'un bol d'or en fusion. Même chose pour un glaçon d'alcool plongé dans de l'alcool. À quelques rares exceptions près mais qui sont des cas très spéciaux et qui n'existent pas dans la nature (lire encadré ci-contre), il n'y a que l'eau gelée qui flotte sur l'eau liquide.

Aucune autre substance ne peut faire le coup des bras tendus dans la discothèque ?

En effet. Dans tous les autres cas de figure, la liaison hydrogène est soit inexistante soit trop faible pour cela. Le méthanol (CH_3OH), ou alcool de bois, est une molécule qui ressemble beaucoup à celle d'eau dans laquelle on aurait remplacé un H par un CH_3 . Elle est certes capable d'établir des liaisons hydrogène avec ses voisines, mais seulement trois, contre quatre pour H_2O . Par ailleurs, ces liaisons sont beaucoup plus faibles que dans le cas de l'eau à cause de l'espace que prend le radical CH_3 . On pourrait également imaginer remplacer l'atome d'oxygène de la molécule d'eau par des éléments de la même colonne du tableau périodique, qui ont tous des caractéristiques similaires. Le soufre (S), le sélénium (Se) ou encore le tellure (Te) existent en effet sous forme de H_2S , de H_2Se et de H_2Te et tous possèdent une géométrie à quatre branches de type tétraèdre et forment un dipôle. Mais dans tous ces cas, le noyau atomique central est plus gros que celui de l'oxygène. Prenant plus de place, il ne permet pas d'obtenir un arrangement aussi parfait qu'avec H_2O . D'ailleurs, si l'on poursuit la comparaison avec ces éléments de la même colonne, le caractère unique de l'eau devient encore plus flagrant.

Que voulez-vous dire ?

Si l'on considère les températures de fusion et d'ébullition du H_2Te , du H_2Se et du H_2S , on remarque qu'elles suivent des progressions linéaires. Si H_2O se situait dans le prolongement logique de cette tendance, son point de fusion devrait se trouver à -100°C et son point d'ébullition à -93°C , ce qui est très loin de la réalité. L'eau introduit une rupture inhabituelle dans le tableau périodique. Elle est tellement unique que même sa sœur jumelle, l'eau lourde (D_2O), ne flotte pas quand elle se transforme en glace.

Qu'est-ce que l'eau lourde ?

DES SOLIDES PLUS LÉGERS QUE DES LIQUIDES

La glace flotte car sa masse volumique ($0,92 \text{ gramme par cm}^3$) est inférieure à celle de l'eau liquide (1 g/cm^3 pour de l'eau à 4°C)

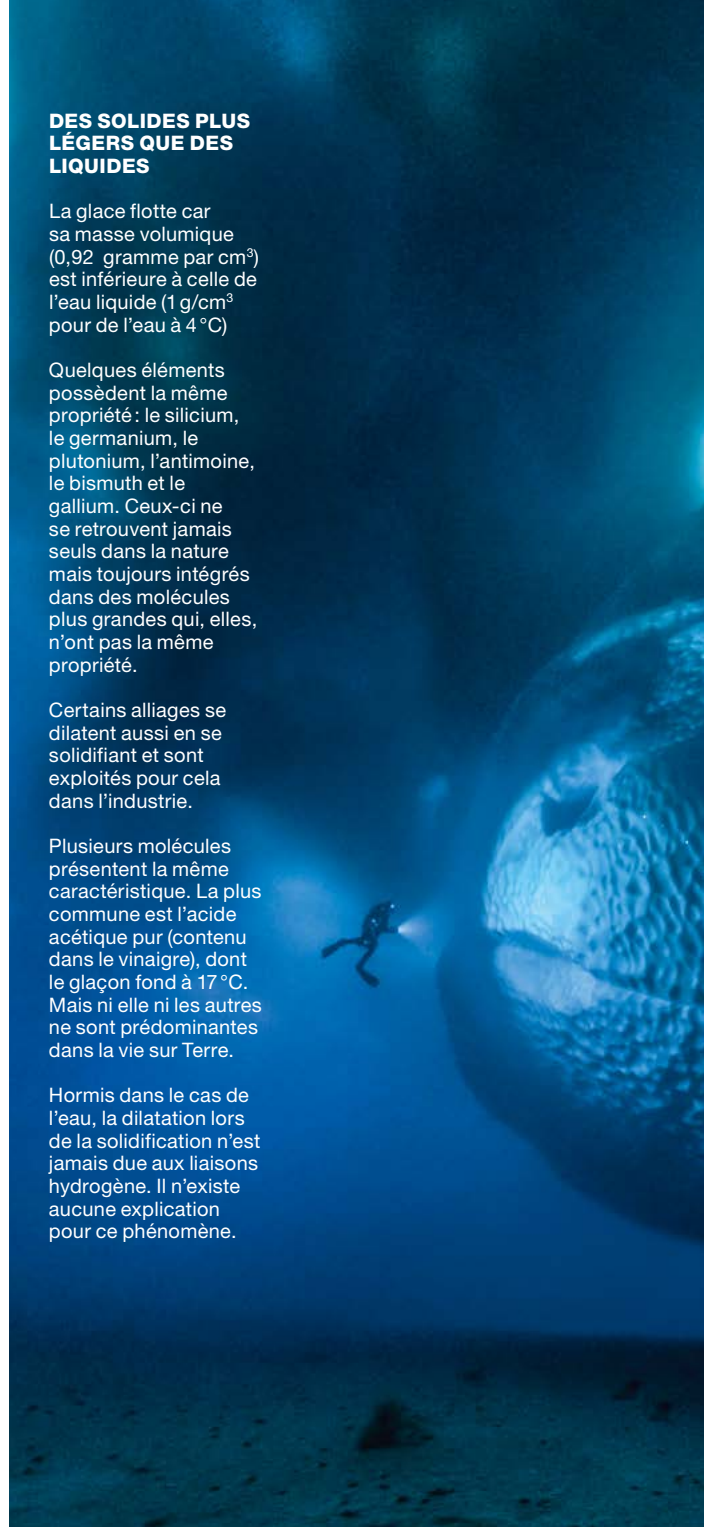
Quelques éléments possèdent la même propriété : le silicium, le germanium, le plutonium, l'antimoine, le bismuth et le gallium. Ceux-ci ne se retrouvent jamais seuls dans la nature mais toujours intégrés dans des molécules plus grandes qui, elles, n'ont pas la même propriété.

Certains alliages se dilatent aussi en se solidifiant et sont exploités pour cela dans l'industrie.

Plusieurs molécules présentent la même caractéristique. La plus commune est l'acide acétique pur (contenu dans le vinaigre), dont le glaçon fond à 17°C . Mais ni elle ni les autres ne sont prédominantes dans la vie sur Terre.

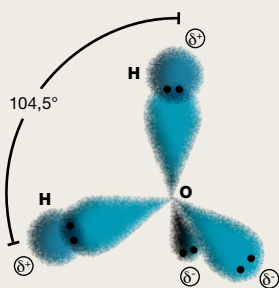
Hormis dans le cas de l'eau, la dilatation lors de la solidification n'est jamais due aux liaisons hydrogène. Il n'existe aucune explication pour ce phénomène.

C'est de l'eau dans laquelle l'hydrogène a été remplacé par son premier isotope, le deutérium (D). Ce dernier est identique à l'hydrogène sauf que son noyau compte un neutron en plus du proton habituel. Cela suffit à changer la géométrie de la molécule et empêcher des liaisons hydrogène de s'établir parfaitement. L'eau lourde est une substance assez chère (plus de 1000 francs le kg) mais comme son apparence est identique à celle de l'eau, voir un glaçon tomber au fond d'un verre est une expérience intéressante à réaliser. En général, elle surprend l'assistance, comme si c'était un phénomène exceptionnel alors que c'est l'eau légère qui est anormale. Heureusement, d'ailleurs.





LA MOLÉCULE DE H₂O EST UN TÉTRAÈDRE PRESQUE PARFAIT



Distance **O-H** :
~0,1 nanomètre

Le noyau de l'atome d'oxygène (**O**) occupe le centre. Les atomes d'hydrogène (**H**) sont en gris.

Les formes allongées rouges représentent quatre orbitales « hybridées » de l'oxygène.

Ces orbitales contiennent les six électrons de la couche électronique extérieure de l'oxygène.

Deux d'entre eux servent à former les liaisons en se combinant avec les électrons solitaires des atomes d'hydrogène.

Les quatre restants forment des doublets d'électrons non liants.

Les atomes d'hydrogène ont tendance à repousser leur électron. Ils sont chargés positivement (δ^+).

Les deux orbitales non liantes, elles, possèdent une charge négative (δ^-).

Ce déséquilibre dans la répartition des charges déforme légèrement l'orientation des quatre bras. L'angle entre les deux liaisons **O-H** est de 104,5° alors qu'il faudrait 109,5° dans un tétraèdre parfait.



ISTOCK

UNE EAU « AB INITIO »

Une équipe de l'École polytechnique fédérale de Lausanne a calculé certaines propriétés macroscopiques de l'eau (différence de densité entre glace et eau, températures de fusion de l'eau normale et de l'eau lourde, stabilité de différentes formes de glace...) en partant des équations de la mécanique quantique. Publiés en décembre 2018 dans la revue *PNAS*, les résultats sont en parfait accord avec les données

expérimentales. Cette prouesse a été réalisée à l'aide de la « théorie de la fonctionnelle de la densité », une variante de l'équation de Schrödinger, qui est à la base de la physique quantique. Cette dernière est toutefois impossible à résoudre analytiquement dès lors que le système considéré est plus complexe que l'atome d'hydrogène. Au-delà, il convient de se tourner vers des simulations numériques

par ordinateur. Mais la puissance de calcul requise devient très vite insurmontable surtout si l'on cherche à déterminer les caractéristiques macroscopiques de l'eau. C'est l'intelligence artificielle et l'apprentissage profond (*deep learning*) qui ont permis aux chercheurs d'économiser suffisamment de temps de calcul pour venir à bout du problème.

ENTRE DEUX EAUX

Des chercheurs suédois ont réussi à montrer, dans un article paru dans la revue *Science* du 22 décembre 2017, que l'eau est en réalité un mélange de deux phases liquides différentes.

Selon les auteurs, les molécules de H_2O s'assemblent à quatre ou cinq sous l'effet des liaisons hydrogène. Ces minuscules grappes s'agencent ensuite entre elles selon un mode qui produit une eau à haute densité ou un autre qui donne naissance à une eau à basse densité.

Dans les conditions ambiantes, l'eau ne peut pas décider dans laquelle des deux formes elle devrait être, ce qui entraîne des fluctuations locales. Ce phénomène est donc imperceptible à notre échelle mais devient détectable avec de l'eau dite en « surfusion », c'est-à-dire sous forme liquide mais à une température en dessous de zéro.

L'effet est maximal à $-44^\circ C$. Les deux eaux pourraient alors même se séparer comme l'huile et le vinaigre.

Pourquoi ?

Le fait que la glace flotte sur l'eau permet à la vie de survivre lorsque les conditions deviennent particulièrement hostiles, comme lors des périodes de grande glaciation. Si l'eau gelée tombait au fond des lacs, tout le volume d'eau finirait par se figer, éradiquant du même coup toute forme de vie. En réalité, l'eau la plus dense – ayant la masse volumique la plus élevée – est à 4 °C. C'est pourquoi la température des fonds marins et lacustres est si stable. En restant en surface, la glace forme une couche isolante, préservant les organismes piégés en dessous, tout en laissant passer suffisamment de lumière pour entretenir la photosynthèse. En attendant que survienne le dégel. Sans exagérer, on peut dire que la vie sur Terre doit une fière chandelle à la liaison hydrogène.

Et qu'est-ce qui fait que l'eau est un « solvant universel » ?

C'est également dû au dipôle électrique formé par la molécule de H₂O. Cette caractéristique permet aux molécules d'eau de s'attacher à toute substance ionique comme les sels ou d'autres molécules polaires avec lesquelles elles peuvent parfois se combiner grâce à la liaison hydrogène. Les sucres, les acides aminés et autres composés sont

ainsi isolés et entourés de H₂O ou, autrement dit, dissous dans l'eau. Cela permet au sang, qui est de l'eau à 90%, de véhiculer des éléments indispensables à l'organisme ainsi qu'aux précipitations et autres cours d'eau de lessiver les sols, d'éroder les montagnes, de dissoudre les sels minéraux et de saler les mers. Malheureusement, l'eau peut tout aussi bien transporter des éléments nocifs, voire même toxiques.

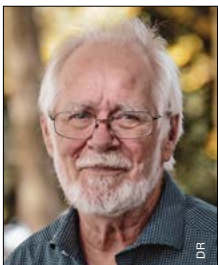
EN RESTANT EN SURFACE, LA GLACE FORME UNE COUCHE ISOLANTE, PRÉSERVANT LES ORGANISMES PIÉGÉS EN DESSOUS, TOUT EN LAISSANT PASSER SUFFISAMMENT DE LUMIÈRE POUR ENTREtenir LA PHOTOSYNTÈSE.

Jacques Dubochet, professeur honoraire à l'Université de Lausanne et ancien doctorant à Genève, a obtenu le Prix Nobel de chimie en 2017 grâce à une découverte basée sur la vitrification de l'eau. De quoi s'agit-il ?

Il existe différentes phases solides pour l'eau. La vitrification en est une. Elle est obtenue en refroidissant une petite quantité d'eau tellement vite que les liaisons hydrogène n'ont pas le temps de s'établir. Pour reprendre l'analogie de la discothèque, c'est comme si l'on figeait instantanément les danseurs qui n'ont dès lors pas le temps

de s'écarter les uns des autres. Jacques Dubochet a été primé pour avoir mis au point une technique permettant de réaliser cette prouesse, ce qui représente une avancée considérable pour l'étude du vivant par la microscopie électronique (*lire ci-contre*).

JACQUES DUBOCHET, L'HOMME QUI A INVENTÉ L'EAU FROIDE



Jacques Dubochet a décroché le Prix Nobel de chimie 2017 pour avoir mis au point une méthode pour « vitrifier » l'eau. Cette transformation – obtenue en utilisant de l'éthane à environ -190 °C maintenu

dans un bain-marie d'azote liquide – consiste à refroidir de petites quantités d'eau tellement vite qu'elles se figent sans pouvoir former de la glace – et donc sans se dilater.

Le professeur honoraire de l'Université de Lausanne et ancien doctorant à celle de Genève cherchait à développer une pré-

paration permettant à des échantillons biologiques d'être observés au microscope électronique.

Ce dernier utilise des faisceaux d'électrons et fonctionne donc dans le vide. Dans ces conditions, l'eau, qui compose à plus de 90% toute forme de vie, s'évapore immédiatement, détruisant les organismes que l'on veut étudier. La congélation, entraînant une dilatation de l'eau et la formation de cristaux coupants, aboutit au même résultat désastreux.

Les scientifiques ont alors mis au point des processus visant à remplacer préalablement l'eau des échantillons par une résine qui se durcit (sans se dilater) et permet leur utilisation dans un microscope électronique. Le problème, c'est que cette méthode introduit des artefacts dans les observations.

Jacques Dubochet découvre la vitrification dans les années 1980, alors qu'il travaille au Laboratoire européen de biologie moléculaire à Heidelberg en Allemagne. La technique est à même de résoudre tous les problèmes de la microscopie électronique énoncés ci-dessus puisque le contenu des échantillons (cellules, virus, protéines...) demeure intact lors du processus. Un peu comme si l'on arrêta subitement le film de la vie.

Il faudra toutefois plusieurs années pour améliorer un pouvoir de résolution relativement faible qui handicaperait longtemps la méthode. Désormais en plein essor, la cryomicroscopie électronique permettra peut-être d'obtenir des images à l'échelle atomique des machineries moléculaires à l'œuvre dans le vivant.

DROIT INTERNATIONAL

ET AU MILIEU COULE UNE RIVIÈRE

POUR PRÉSERVER LES RESSOURCES EN EAUX DE LA PLANÈTE, IL EST NON SEULEMENT NÉCESSAIRE DE METTRE FIN AUX VIOLATIONS DU DROIT INTERNATIONAL HUMANITAIRE LORS DE CONFLITS ARMÉS, MAIS AUSSI D'ENCOURAGER LA COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE. C'EST LE POINT DE VUE QUE DÉFEND LE PANEL MONDIAL DE HAUT NIVEAU SUR L'EAU ET LA PAIX DONT LE SECRÉTARIAT A SON SIÈGE À GENÈVE.



Laurence Boisson de Chazournes

Professeure ordinaire au Département de droit international public et organisation internationale (Faculté de droit)

Conseillère principale auprès de la Banque mondiale de 1995 à 1999, Laurence Boisson de Chazournes agit depuis en tant qu'experte auprès d'États, d'organisations internationales, d'associations et de fondations. Elle a été membre du Comité consultatif du Conseil des droits de l'homme des Nations unies entre 2011 et 2017, du Panel de haut niveau sur l'eau et la paix (2015-2017), ainsi que du Geneva Water Hub et du Research Council de l'European University Institute (depuis 2017).

Les ressources en eau potable de la planète sont aujourd'hui prises entre deux feux. D'une part, parce que les guerres asymétriques qui caractérisent les conflits armés contemporains donnent lieu à des attaques toujours plus fréquentes contre les installations hydriques, comme en témoigne la prise du barrage de Mossoul par les troupes de l'État islamique en 2014 ou la destruction plus récente d'infrastructures servant à l'approvisionnement en eau potable à Alep par les forces gouvernementales. De l'autre, parce que les effets conjugués de la croissance démographique et du changement climatique devraient inmanquablement conduire à une pression accrue sur les réserves disponibles, sachant que seuls 2,5% de l'eau présente sur Terre peut être utilisée pour répondre aux besoins humains (consommation domestique, irrigation, industrie). La situation est à ce point alarmante que, selon les experts du Forum économique mondial de Davos, la rareté grandissante de ce liquide indispensable au développement de la vie humaine constitue l'un des principaux risques pour la prochaine décennie à l'échelle de la planète.

Pour éviter que cette prophétie ne se réalise, le Panel mondial de haut niveau sur l'eau et la paix a formulé des recommandations visant à renforcer les instruments permettant de réduire ou d'éviter les conflits liés à l'eau et à confirmer le rôle de l'eau comme instrument de paix. Ce groupe d'experts, soutenu par une quinzaine d'États et dont le secrétariat est hébergé par le Geneva Water Hub (*lire ci-contre*), a publié un rapport intitulé *L'eau une question de survie* en 2017. Les auteurs de ce document en appelaient alors à une approche nouvelle sur le plan de la réflexion, des pratiques et des institutions, aussi bien dans les domaines de la diplomatie, du droit international et de la sécurité que dans ceux de la gestion des données, de la finance, de la technologie, du changement climatique ou de la lutte contre la pollution.

Dans cette perspective, les experts recommandaient notamment l'instauration d'un cessez-le-feu en cas de menaces sur les ressources hydrauliques durant un conflit armé, mesure qui a été adoptée lors du conflit en Ukraine. Ils préconisaient également la création d'un Observatoire mondial de l'eau et de la paix dont la fonction première consisterait à fournir des analyses scientifiques et juridiques ainsi que des conseils en matière de politiques à la communauté internationale, projet qui est en voie de réalisation.

Rendue publique le 22 mars dernier dans les murs de l'International Peace Institute de New York, la *Liste de principes de Genève sur la protection des infrastructures hydrauliques* se situe

dans la droite ligne de ce premier exercice. Ce texte de référence, dont les chevilles ouvrières sont Mara Tignino, maître d'enseignement et de recherche à la Faculté de droit et Öykü Irmakkesen, assistante à l'Académie de droit international humanitaire et de droits humains, comprend une vingtaine de recommandations. Il rassemble pour la première fois dans un document unique les règles fragmentées sur la protection des infrastructures hydrauliques dans différentes branches du droit international, à savoir le droit

international humanitaire, les droits de l'homme, le droit international de l'environnement et le droit international de l'eau. Il encourage lui aussi les États à créer en temps de paix des commissions ou des mécanismes mixtes en vue d'assurer la protection des infrastructures hydrauliques situées sur des ressources en eau transfrontières.

« Il est bien sûr nécessaire de mettre fin aux exactions qui visent les installations hydriques en temps de guerre et qui ont longtemps constitué une « zone grise » pour le droit, résume Laurence Boisson de Chazournes, professeure ordinaire à la Faculté de droit, membre du Geneva Water Hub et du Panel de haut niveau sur l'eau et la paix. Mais cela ne suffit pas. Pour faire face à des défis aussi complexes que le changement climatique, la

**LA RARETÉ
GRANDISSANTE
DE L'EAU DOUCE
CONSTITUE L'UN
DES PRINCIPAUX
RISQUES POUR LA
PROCHAINE DÉCENNIE
À L'ÉCHELLE
DE LA PLANÈTE.**



LA PLATEFORME QUI REPENSE LA DIPLOMATIE DE L'EAU

Lancé en 2014 par l'Université de Genève et le Département fédéral des affaires étrangères, le Geneva Water Hub met l'accent sur l'hydro-diplomatie afin de prévenir et résoudre les conflits. Il mène des recherches, organise des formations et constitue un groupe de réflexion sur la gouvernance mondiale de l'eau et ses défis. Il cherche plus particulièrement à combler le fossé entre la recherche, les politiques et les pratiques sur le terrain. Servant depuis 2015 de secrétariat au Panel de haut niveau sur l'eau et la paix, il coordonne également le Partenariat universitaire pour la

coopération et la diplomatie dans ce domaine, lancé lors du World Economic Forum de Davos de 2018. Regroupant des chercheurs de la Faculté de droit – dont ceux de la Plateforme pour le droit international de l'eau douce – et de l'Institut des sciences de l'environnement, le Geneva Water Hub organise une École d'été annuelle sur la gouvernance de l'eau. Il propose par ailleurs des cours à distance et des « webinaires » (contraction des mots web et séminaire) sur le droit international de l'eau et le droit des aquifères transfrontières, ainsi que plusieurs cours en ligne en accès

libre sur des sujets tels que la politique et la gestion des ressources en eau et les services écosystémiques. En février dernier, le Geneva Water Hub a organisé, avec le Secrétariat de la Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux de la CEE-ONU, une rencontre diplomatique entre la Gambie, la Guinée-Bissau, la Mauritanie et le Sénégal. Cette réunion a offert aux représentants des ministères responsables de l'eau des quatre pays l'opportunité d'avoir un premier échange sur

l'état des connaissances concernant le bassin aquifère sénégal-mauritanien. Elle a également permis aux États concernés d'explorer des pistes visant leur engagement potentiel dans la gestion des eaux souterraines, leur mandat actuel se limitant aux eaux de surface. Couvrant une superficie d'environ 350 000 km², le bassin aquifère sénégal-mauritanien constitue une ressource stratégique de première importance pour un bassin de population qui compte 24 millions de personnes.

www.genevawaterhub.org/fr



pollution ou l'accès inégalitaire aux ressources, il faut également encourager toutes les initiatives qui, à des échelons divers, sont susceptibles de favoriser le dialogue au niveau local ou régional.» Dans ce domaine, il n'existe toutefois pas de solution magique. Les traités universels des Nations unies sur les eaux, à savoir la Convention des Nations unies sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation et la Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux, se bornent en effet à fixer des principes de base, notamment celui du partage juste et équitable des ressources en eau transfrontalières et celui de ne pas causer de dommages importants, sans préciser les modalités de leur mise en œuvre.

«Le droit est un outil indispensable mais non suffisant pour gérer les ressources en eau, poursuit la juriste. Il doit toujours être en phase avec d'autres éléments, culturels, sociaux, économiques ou géographiques qui sont propres au cours d'eau ou au bassin fluvial concerné. Il faut donc mettre autour d'une même table l'ensemble des acteurs impliqués (pouvoirs publics, organisations internationales, agences non gouvernementales, milieux scientifiques) et analyser chaque situation au cas par cas. Ceci en sachant qu'en dernier recours, c'est aux États riverains que revient la responsabilité de s'accorder sur ce que représente réellement le partage équitable et raisonnable préconisé par les normes internationales.»

À cet égard, l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) est souvent citée en exemple.

Regroupant le Mali, la Mauritanie et le Sénégal, rejoints par la Guinée en 2006, l'OMVS a été créée dès 1972 afin de gérer le bassin-versant du fleuve Sénégal de façon concertée. Un vaste programme d'aménagements hydro-agricoles et hydroélectriques a ainsi pu être mis sur pied avec l'appui de bailleurs de fonds comme la Banque mondiale et les agences de développement. Ces grands barrages sont aujourd'hui la propriété commune des États membres de l'Organisation, la plus-value financière réalisée grâce à la production énergétique étant répartie entre eux. Et même au plus fort de la crise entre la Mauritanie et le Sénégal entre 1989 et 1991, qui s'est soldée par la rupture de leurs relations diplomatiques, le dialogue au sein de l'OMVS n'a jamais été rompu. Dans un registre similaire, la Commission de l'Indus, qui lie l'Inde et le Pakistan, a elle aussi survécu au contentieux sévère qui oppose les deux États à propos du Cachemire.

À l'inverse, les bénéfices sont plus incertains dans la région du Mékong, la Chine ayant choisi de faire cavalier seul et de poursuivre la construction de ses barrages en toute impunité. Des tensions sont également perceptibles autour du Nil, l'Égypte rechignant à reconnaître les prétentions de l'Éthiopie suite au partage effectué avec le Soudan à la fin des années 1950.

«Ce type de dispositif a le grand mérite de permettre de garder le contact en tout temps et en toutes circonstances, analyse Laurence Boisson de Chazournes. Le problème, c'est que tant les pouvoirs alloués à ces commissions transfrontalières que le

Depuis 2017, le fleuve Whanganui, qui coule sur 290 kilomètres en Nouvelle-Zélande, dispose d'une personnalité juridique, ce qui lui donne les mêmes droits qu'un être humain. En Inde, le Gange et son affluent, la Yamuna, ont également été considérés par la Haute Cour de l'État de l'Uttarakhand comme des «entités vivantes ayant le statut de personne morale».

LES NAPPES AQUIFÈRES, QUI PRODUISENT PRÈS DE 80% DE L'EAU POTABLE CONSOMMÉE SUR TERRE, ONT ÉTÉ TRÈS PEU EXPLORÉES PAR LE DROIT INTERNATIONAL

contenu concret de la coopération peuvent varier considérablement d'une région à l'autre. C'est une des raisons pour lesquelles le Panel mondial de haut niveau sur l'eau et la paix préconise la création d'institutions spécialisées dans la médiation qui pourraient aider efficacement les États à trouver un véritable terrain d'entente, puisqu'à l'heure actuelle sur les 263 bassins partagés que compte la planète, beaucoup n'ont pas encore adopté de cadres juridiques et institutionnels communs.»

L'autre piste qui retient toute l'attention des juristes est celle des nappes aquifères. Ces réserves souterraines qui produisent pourtant près de 80% de l'eau potable consommée aujourd'hui sur Terre ont pour l'instant été très peu explorées par le droit international, alors même qu'elles possèdent un énorme potentiel en termes de maintien de la paix et de la sécurité comme le montre le traité historique signé il y a 40 ans de cela par les autorités du canton et celle du département voisin de Haute-Savoie (lire ci-dessous).

«Afin d'anticiper au mieux les conséquences prévisibles du changement climatique, la solution idéale consisterait à considérer l'eau comme un intérêt commun à l'ensemble de l'humanité», conclut Laurence Boisson de Chazournes. Il deviendrait

ainsi envisageable de reconnaître aux États désavantagés sur le plan hydrologique un intérêt dans le cycle hydrologique global, intérêt qui pourrait se concrétiser sous diverses formes à commencer par du transfert de technologie ou de l'aide à l'expertise. Cela ne pourra toutefois se faire sans l'intervention du secteur privé, et nombre d'États dans les diverses régions du monde se montrent très critiques envers ce type de démarche.»

LE MODÈLE DE L'AQUIFÈRE DU GENEVOIS À 40 ANS

C'est à partir du milieu des années 1960 que les autorités des deux côtés de la frontière genevoise commencent à s'inquiéter du risque d'assèchement de la nappe du Genevois qui couvre une large partie des besoins en eaux de la région. Surexploitée en raison de l'augmentation démographique, celle-ci donne en effet des signaux alarmants. Entre 1968 et 1976, son niveau chute de pas moins de 6 mètres, tandis que certains puits alentours sont à sec.

Devant l'urgence de la situation, un accord alors unique au monde est paraphé le 9 juin 1977. Courant sur quarante ans, il a pour objectif premier de protéger l'aquifère genevois et de préserver la qualité de ses eaux. Dans cette perspective, il établit une commission de

gestion chargée d'établir un plan d'utilisation annuel basé sur les besoins des utilisateurs et de prévoir des mesures de protection contre la pollution. Le texte institue le partage des coûts inhérents à la construction d'installations permettant la recharge de la nappe à partir des eaux de l'Arve, ainsi que l'obligation de procéder à des relevés de niveau réguliers et une procédure en cas de litige.

«Cet accord, qui est dû à la grande clairvoyance des décideurs politiques de l'époque, est le plus complet à ce jour», observe Laurence Boisson de Chazournes, professeure à la Faculté de droit et membre du Geneva Water Hub. Il a ouvert la porte à une coopération transfrontalière concrète à l'échelle du Grand Genève et inspiré



d'autres régions du monde qui ont également adopté ce mode de gestion fondé non pas sur la diplomatie de haut vol mais sur l'action concrète.»

C'est le cas du Soudan, du Tchad, de la Libye et de l'Égypte, réunis dans le cadre du système aquifère des grès nubiens qui, avec ses 2 millions de km², constitue l'une des plus grandes réserves d'eaux souterraines du monde. La Libye a également conclu un accord avec l'Algérie et la Tunisie dans le cadre

du Système aquifère du Sahara septentrional, tandis que le système aquifère d'Illemeden regroupe l'Algérie, le Bénin, le Burkina Faso, le Mali, la Mauritanie, le Niger et le Nigeria. Au Moyen-Orient, l'aquifère de Al-sag/Al-Disi permet une gestion conjointe des eaux entre la Jordanie et l'Arabie saoudite, tandis que l'Argentine, le Brésil, le Paraguay et l'Uruguay travaillent à la mise en place d'une structure commune autour de l'aquifère Guarani.



MUSÉE D'ART ET D'HISTOIRE DE GENÈVE

DIAPORAMA

LES PEINTRES DE L'INVISIBLE

TRANSPARENTE COMME L'AIR ET MOUVANTE COMME LE FEU, **L'EAU EST PEUT-ÊTRE, DES QUATRE ÉLÉMENTS, LE PLUS DIFFICILE À PEINDRE.** L'HISTOIRE DE L'ART REGORGE POURTANT D'OCÉANS DÉCHAÎNÉS, DE BERGES SEREINES ET DE CASCADES BOUILLONNANTES, MÊME S'IL FAUT ATTENDRE LA RENAISSANCE POUR QUE CE LIQUIDE DEVIENNE UN SUJET EN TANT QUE TEL. LA PREUVE EN IMAGES.

« La pêche miraculeuse », Konrad Witz (1444)

Peinte en 1444 par le Bâlois Konrad Witz, *La pêche miraculeuse* fait partie d'un retable qui ornait le chœur de la cathédrale de Genève jusqu'à sa destruction partielle à l'époque de la Réforme. Conservée aujourd'hui au Musée d'art et d'histoire, cette œuvre synthétisant plusieurs récits évangéliques est connue pour être le premier tableau intégrant une scène biblique dans un paysage se voulant topographiquement exact, en l'occurrence l'extrémité occidentale du lac Léman vue de la Rade de Genève.

L'eau, comme c'est le cas dans la plupart des œuvres conservées depuis l'Antiquité, sert ici de cadre à la représentation. La surface réfléchissante qu'elle constitue permet à l'artiste d'y disposer aisément ses personnages (le Christ au premier plan, saint Pierre devant lui et les apôtres sur la barque), mais aussi de démontrer son savoir-faire.

Le mouvement est ainsi suggéré par les ondes qui entourent la barque. Les jambes de saint Pierre paraissent déformées sous la surface de l'eau, tandis que les effets de réfraction sont figurés par les ombres des apôtres et des bâtiments. « Par les difficultés techniques que suppose sa représentation, l'eau est un défi que la nature adresse aux artistes, explique Jan Blanc, professeur ordinaire au Département d'histoire de l'art et de musicologie (Faculté des lettres). Pour créer l'illusion de la présence de l'eau sur une toile, il faut en effet trouver des moyens spécifiquement picturaux pour faire voir ce qu'elle change dans la forme des corps qui y sont plongés et qui s'y reflètent ou ce que l'air produit à sa surface. Le problème, dans le cas présent, n'est donc pas tant d'obtenir une ressemblance parfaite avec la nature que de renvoyer le spectateur à l'idée, parfois approximative, qu'il se fait des phénomènes optiques. Et Konrad Witz est sans doute l'un des premiers à s'intéresser à cette question, dans le sillage des peintres néerlandais de la Renaissance. »

**« La grande cascade de Tivoli »,
Jean-Honoré Fragonard (1761-1762)**

Perchée sur un éperon rocheux, à une trentaine de kilomètres de Rome, la petite ville de Tivoli est un des hauts lieux de l'histoire de la peinture. Dès le XVI^e siècle, de nombreux artistes tels que Raphaël, Bruegel l'Ancien, Fragonard ou Joseph Vernet ont cherché à immortaliser ses ruines et, surtout, ses cascades vertigineuses.

À défaut d'être totalement fidèle à la réalité, la composition proposée par Fragonard, qui va avoir une influence considérable sur la peinture de paysages en France, s'efforce de magnifier la nature dans toute sa puissance et sa majesté. Au milieu d'une végétation luxuriante, sous une arche qui cadre le regard du spectateur, la cascade est mise en valeur par un subtil jeu de lumière qui permet de rendre le mouvement de l'eau et le fracas provoqué par sa chute sur les rochers en contrebas. *« Ce site était connu pour le bruit assourdissant provoqué par la chute, précise Jan Blanc. La grande force de cette œuvre, c'est de jouer avec ce vacarme, en le plaçant à distance, comme un bruit de fond ignoré des lavandières du premier plan qui, elles, oublient la beauté des lieux pour tirer un usage plus pragmatique des eaux de l'Aniene. »*



**« Le Christ dans la tempête sur la mer
de Galilée », Rembrandt (1633)**

Seul tableau du grand maître hollandais situé dans un environnement aquatique, *« Le Christ dans la tempête »* représente une scène biblique décrite dans le Nouveau Testament. Outre le fait que le peintre s'y soit peut-être représenté en compagnie de Jésus et des 12 apôtres (il s'agirait du seul personnage regardant le spectateur), cette œuvre est surtout remarquable par la façon saisissante avec laquelle l'artiste parvient à restituer les mouvements de la houle. Comme toutes les marines produites jusqu'à l'invention de la peinture en tubes, cette toile a pourtant été entièrement réalisée en atelier, à partir des souvenirs visuels du peintre.

« Le genre de la marine, qui apparaît véritablement dans la seconde partie du XVI^e siècle, est paradoxalement celui qui suppose le plus d'imagination de la part du peintre, complète Jan Blanc. Comme il est impossible de faire poser la mer, motif mobile par essence, le peintre doit y faire valoir deux qualités fort prisées dans les Provinces-Unies du XVII^e siècle : la qualité du regard et celle de la mémoire. »

« Nature morte au brasero, aux piverts et au baquet d'eau sur une table »

Sébastien Stoskopff (1635)

C'est avec des artistes tels que Sébastien Stoskopff que l'eau devient un sujet pictural en tant que tel. Spécialiste reconnu du *stilleven* (ce que l'on appellera « nature morte » à la fin du XVIII^e siècle), l'Alsacien place en effet régulièrement dans ses compositions divers récipients emplis d'eau plutôt que de vin ou de bière. « *Contrairement aux étendues plus vastes comme les lacs, les mers, les rivières ou les cascades, l'eau qui repose en petite quantité dans un récipient n'a ni mouvement ni couleur*, explique Jan Blanc. *C'est donc un objet à la fois extrêmement banal et particulièrement difficile à représenter.* »

Dans le cas de ce tableau, la présence de l'eau est suggérée par les ombres portées à l'intérieur du baquet ainsi que par le subtil floutage des formes du poisson qui y est immergé. L'effet de réel obtenu est d'autant plus impressionnant que l'artiste ne peut se fier qu'à son sens de l'observation, puisque ces effets de réfraction commencent alors tout juste à bénéficier de descriptions précises, chez René Descartes, puis chez Christiaan Huygens.

« *Cette démarche, qui consiste à saisir la structure interne et externe de la matière en se saisissant de la question symbolique ou allégorique comme d'un simple prétexte est loin d'être anecdotique à mes yeux*, poursuit le chercheur. *À mon sens, elle témoigne d'un changement de paradigme qui intervient à cette époque tant dans le monde des arts que dans le domaine des sciences, où l'observation et l'expérimentation empiriques prennent le pas sur des modèles d'explication et de description métaphysiques de la nature.* »

Chez le célèbre théoricien italien Leon Battista Alberti (1404-1472), qui s'exprime dans son « *De pictura* », un tableau doit être comme une fenêtre ouverte sur l'*istoria*, c'est-à-dire sur une fiction, issue de l'esprit du peintre, et qu'il faut représenter selon les règles de la perspective géométrique. Avec le développement des recherches baconiennes et galiléennes, la question n'est plus là pour de nombreux artistes et savants : il s'agit de s'appuyer sur l'observation de la nature pour dégager des lois dont la pertinence peut ensuite être vérifiée par l'expérience. « *Il y a, conclut Jan Blanc, un rapport assez fort entre cette science qui tente de montrer qu'il existe des choses que l'on ne peut pas voir mais dont la réalité peut être démontrée et le développement d'une peinture qui se concentre de plus en plus sur des phénomènes optiques jusque-là mis de côté par les artistes.* »

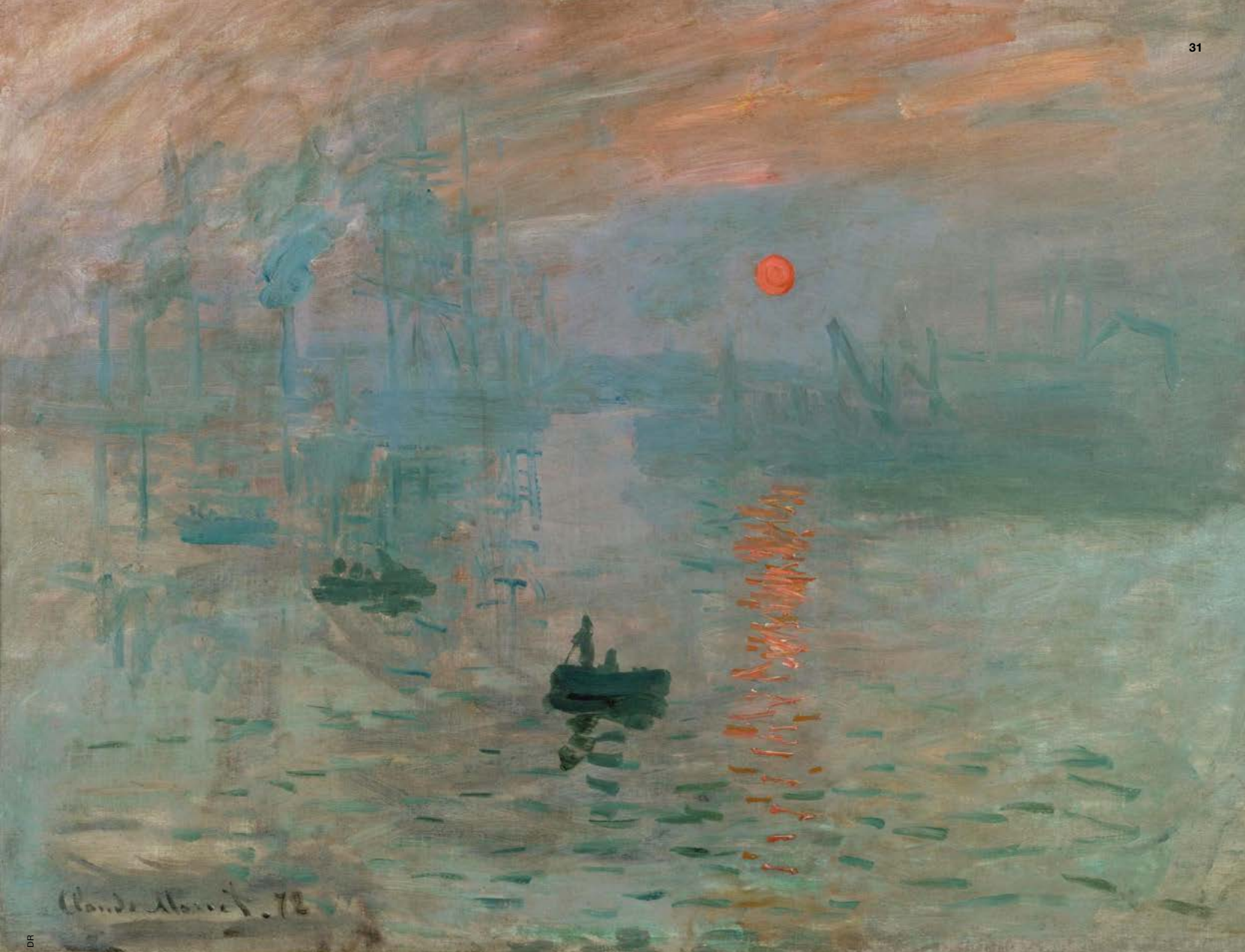


Jan Blanc

Professeur ordinaire d'histoire de l'art de la période moderne et doyen de la Faculté des lettres.

Membre du comité scientifique de la Maison de l'Histoire de l'UNIGE, Jan Blanc est l'auteur de plusieurs ouvrages de référence sur des artistes comme Van Gogh, Vermeer, Léonard de Vinci ou Raphaël.

Il donnera une conférence sur la place de l'eau dans la peinture le samedi 30 mars à Uni Dufour, dans le cadre de l'édition 2019 du Festival Histoire et Cité. <https://histoire-cite.ch/>



**« Impression soleil levant »
Claude Monet (1872/1873)**

Œuvre mondialement connue pour avoir donné son nom au mouvement impressionniste, *Impression soleil levant* a été réalisée en 1872 ou en 1873 par Claude Monet dans le port de la ville du Havre. Présentée pour la première fois au public le 15 avril 1874 dans l'ancien atelier du photographe Nadar, elle marque une rupture dans l'histoire de la peinture académique et aura une influence considérable sur le développement de l'art moderne.

Avec le développement de la photographie qui s'amorce dans la seconde partie du XIX^e siècle, la peinture perd en effet ce qui avait été jusque-là une de ses fonctions premières, à savoir la représentation aussi fidèle et objective que possible de la réalité. Les impressionnistes comme Monet, Renoir, Pissarro, Sisley, Cézanne ou Degas y voient l'occasion d'explorer de nouveaux territoires artistiques en privilégiant non plus la description de la nature mais les sensations que celle-ci suscite chez l'artiste.

Ce virage se traduit non seulement par une évolution radicale des techniques (traits de pinceau visibles, compositions

ouvertes, utilisation d'angles de vue inhabituels) mais également par le choix de sujets puisés dans la nature et la vie quotidienne, et souvent dénués de références mythologiques ou religieuses. *« L'ambition de ces peintres n'est pas de rendre compte de la nature telle qu'elle est (pour autant que cela soit possible), mais des effets éphémères qu'elle provoque sur le regard de celui qui la contemple, commente Jan Blanc. Par sa mobilité même, l'eau devient, en un certain sens, un emblème de cette modernité, tant artistique que poétique où la sensation subjective est centrale. »*

Choisir comme sujet un port industriel comme le fait Monet avec *Impression soleil levant* permet tout d'abord d'affirmer sa différence avec les paysagistes qui travaillent en atelier, ou qui peignent des sites connus pour leur beauté sauvage et naturelle. De la même façon, donner à voir des canotiers ou des baigneuses dénudées renvoie à cette autre forme de progrès que constituent alors, pour les couches les plus aisées de la population, les loisirs liés aux plaisirs de l'eau. Mais si l'eau a tant passionné les impressionnistes, c'est surtout parce qu'elle constitue un formidable terrain d'expérimentation. Une surface sur laquelle les reflets brouillent le réel, autorisant l'usage de formes et de couleurs inédites jusque-là.

LIMNOLOGIE

LES SECRETS DE «LA LICORNE»

L'UNIVERSITÉ POSSÈDE UN BATEAU SCIENTIFIQUE, «LA LICORNE». GÉRÉ DEPUIS BIENTÔT 40 ANS PAR LE DÉPARTEMENT F.-A. FOREL, LE NAVIRE A PERMIS DES DÉCOUVERTES IMPORTANTES SUR LE LÉMAN DONT CELLE DU TSUNAMI DE 563.

Cela fait bientôt quarante ans que *La Licorne* croise sur le Léman. Habillé de neuf et enfin orné de son nom après un passage par le chantier naval de Mies pour y recevoir un coup de pinceau bienvenu, le bateau du Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau a repris sa place à Port Choiseul et attend sa prochaine mission scientifique. Car si, contrairement à son homonyme imaginé par Hergé, il ne recèle lui-même aucun secret, il contribue à révéler ceux du lac.

C'est en effet en réalisant des mesures depuis son bord que Stéphanie Girardclos et Katrina Kremer, toutes deux géologues au Département des sciences de la Terre (Faculté des sciences) ont découvert en 2010 une anomalie dans les couches sédimentaires du Léman dont il s'est avéré qu'il s'agissait d'un véritable trésor: les dépôts laissés par le raz-de-marée légendaire du Tauredunum survenu en l'an 563 (*lire ci-contre*).

C'est également *La Licorne* qui est régulièrement mise à contribution pour étudier la baie de Vidy, un site unique au monde de par sa morphologie et ses courants piégeant les polluants, pour l'étude de la contamination des sédiments et de l'environnement par les rejets d'une station d'épuration d'une ville comme Lausanne.

Et c'est encore elle qui a permis de réaliser en 2014, sur mandat de l'État de Vaud, une bathymétrie complète du lac, une opération peu banale puisque la seule fois que la profondeur du Léman a été ainsi mesurée systématiquement remonte à la fin des années 1880.

Fil à plomb «*À cette époque, les relevés étaient obtenus à l'aide d'un fil à plomb et de géomètres placés sur les rives pour noter la position du bateau, explique Jean-Luc Loizeau, maître*

d'enseignement et de recherche au Département F.-A. Forel et l'une des quatre personnes de l'institution à détenir un permis de navigation pour piloter *La Licorne*. Philippe Gosset et Jakob Hörnlmann, pour la partie suisse, et André Delebecque, pour la française, ont réalisé de cette manière près de 12 000 sondages qui ont permis de dresser la carte hydrographique de l'Atlas Siegfried – l'atlas topographique officiel de la Suisse, terminé en 1926 – avec des courbes équidistantes de 10 mètres.»

LE NAVIRE PEUT TRANSPORTER JUSQU'À 12 PERSONNES ET EMBARQUER TOUT LE MATÉRIEL SCIENTIFIQUE NÉCESSAIRE, COMME DES CAROTTIERS, DES BOUTEILLES DE PRÉLÈVEMENT, DES SONARS, ETC.

Depuis *La Licorne*, les mesures ont été effectuées à l'aide d'un appareil de pointe autrement plus performant: un sonar multifaisceau qui balaie une grande surface durant chaque transept et est ainsi à même de fournir, en quelques mois, des données pour l'ensemble du fond lacustre.

Les résultats des deux campagnes ont pu être comparés. Le point le plus profond a ainsi subi une remontée de 86 centimètres pour se fixer à 308,99 mètres. Mais parmi la foule de découvertes moins anecdotiques que la bathymétrie a permises, il en est une qui a surpris Jean-Luc Loizeau. Dans une zone juste au nord de l'embouchure du Rhône, qui correspond encore

au front du delta, la carte montre que des sédiments se seraient accumulés sur une épaisseur de près de 50 mètres en seulement 125 ans. C'est-à-dire presque 40 centimètres par an en moyenne. Ce qui est énorme.

Le chercheur, qui dirige actuellement avec Stéphanie Girardclos une thèse visant à comprendre la dynamique des sédiments dans le delta du Rhône, n'y a pas cru tout de suite. Mais un forage récent a rapidement confirmé l'hypothèse d'une sédimentation rapide qui semble se poursuivre. Dans la mesure où ces dépôts sont accrochés à un terrain en forte pente, leur stabilité est évidemment questionable. D'autres études sont néanmoins nécessaires pour



Jean-Luc Loizeau

Maître d'enseignement et de recherche au Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau

1991 Termine sa thèse à l'UNIGE.

1991-1992 Post-doc à la Smithsonian Institution à Washington D.C.

1999 Nommé maître d'enseignement et de recherche à l'UNIGE.

Ses recherches visent à retracer l'histoire récente de la contamination de l'environnement par l'étude des sédiments lacustres.



« TAUREDUNUM 563 », QUAND LE LÉMAN SORT DE SES RIVES

Le placide Léman connaît régulièrement de grosses colères, en général éterné par une forte bise. Mais aucune n'égale en puissance dévastatrice celle de 563. En un jour funeste de cette année-là, à en croire les chroniques médiévales de Marius d'Avenches et de Grégoire de Tours, deux évêques du VI^e siècle, le lac, « sortant de ses deux rives », « détruisit des villages très anciens » et « emporta dans sa violence le pont de Genève, les moulins et les hommes et, entrant dans la cité de Genève, il tua beaucoup d'hommes ». La cause de ce cataclysme serait une montagne, désignée comme le Tauredunum, qui se serait écroulée quelque part dans la vallée du Rhône (entre Martigny et le delta), après avoir « fait entendre pendant plus de soixante jours une espèce de mugissement ». L'éboulement aurait provoqué, d'une façon ou d'une autre, un raz-de-marée destructeur sur le lac. Faute de

restes archéologiques et de données géologiques permettant de corroborer la catastrophe, cette histoire est restée une énigme durant 1500 ans. Comme le détaille un ouvrage récent, *Un Tsunami sur le Léman, Tauredunum 563*, le mystère s'est subitement éclairci en 2010, lorsque Stéphanie Girardclos et Katrina Kremer, toutes deux géologues au Département des sciences de la Terre (Faculté des sciences), ont vu apparaître sur l'écran de leur ordinateur les résultats obtenus à l'aide de leur échosondeur. Visionnant la reconstitution par cet appareil des sédiments au fond du lac, elles observent alors une couche anormalement épaisse. Après analyse, il se trouve que cette strate remonte à l'époque du fameux tsunami et qu'elle renferme deux fois plus de sédiments – déposés en quelques heures – que la couche qui s'est formée au-dessus au cours du millénaire

et demi qui a suivi. Il ne fait aucun doute que les chercheuses sont en présence d'un événement d'une ampleur peu fréquente. Les résultats et les modélisations sont publiés dans la revue *Nature Geoscience* du mois de novembre 2012 et les auteurs font le lien avec l'épisode du Tauredunum. Les modèles confirment la formation d'un tsunami avec une vague de plusieurs mètres de haut. Selon le dernier scénario en date, rapporté dans le livre, la catastrophe commencerait avec le détachement de la partie sommitale de la Suche, une montagne qui surplombe le delta du Rhône, et son écoulement dans la plaine. Cette dernière se plisse et l'onde de choc se transmet aux sédiments du lac, provoquant une avalanche sous-lacustre. Pas moins de 250 millions de mètres cubes de matière se détachent du front du delta. Ce déplacement massif de sédiments provoque l'apparition d'énormes vagues

dont la plus haute atteint 13 mètres à Lausanne, détruisant toutes les infrastructures situées sur les rives. Quelque 70 minutes après l'écroulement, une vague de 8 mètres de haut frappe et dépasse les premiers murs de la cité burgonde de Genève.



Un tsunami sur le Léman, Tauredunum 563

Par Pierre-Yves Frei et
Sandra Marongiu, PPUR,
2018, 180 p.

évaluer les risques d'éboulements sous-lacustres comparables à ceux qui ont provoqué le tsunami d'il y a 1500 ans.

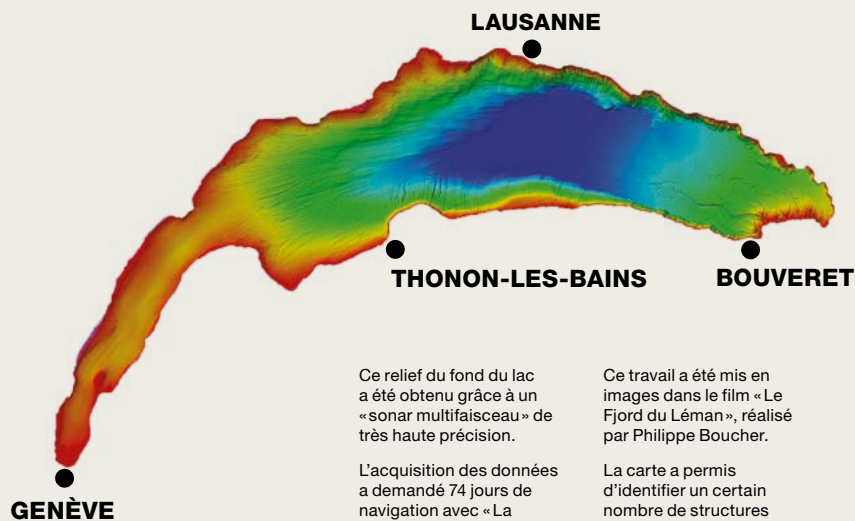
Une bonne machine « Pour la réalisation de ces projets et de bien d'autres, La Licorne représente un précieux outil à disposition des scientifiques, explique Jean-Luc Loizeau. Précieux et fiable. Il a été construit aux Pays-Bas et était, paraît-il, destiné aux gardes-côtes portugais. C'est finalement le professeur Jean-Pierre Vernet, le fondateur de l'Institut F.-A. Forel, qui l'a acheté pour 250 000 francs en 1980 afin de remplacer l'ancien bateau, devenu trop petit. Et depuis, il n'a jamais eu une seule avarie. C'est une bonne machine. »

Avec ses 13 mètres de long, le navire peut transporter jusqu'à 12 personnes et, surtout, embarquer tout le matériel scientifique nécessaire, comme des carottiers, des bouteilles de prélèvement, des sonars, etc. Il possède également une grue pouvant soulever jusqu'à 500 kilos. La flotte de l'Université compte d'ailleurs un second bateau, beaucoup plus petit et naviguant peu. Avec son fond plat, il est notamment utilisé pour les recherches archéologiques dans la Rade de Genève.

« Il n'y a pas de budget spécifique alloué à La Licorne, précise Jean-Luc Loizeau. Son entretien est payé par les projets de recherche qui utilisent le navire et qui intègrent dans leur financement une certaine somme par jour d'exploitation. Et quand des travaux plus importants s'imposent, comme la rénovation complète du système hydraulique et des réservoirs qui a été effectuée il y a 4 ans, nous demandons le soutien de la Section. »

L'utilisation du bateau varie beaucoup d'une année à l'autre. Pour 2019, il est déjà réservé pour deux projets (l'un concernant le mercure dans le lac, l'autre le phytoplancton). Par ailleurs, La Licorne, qui peut être louée pour 1300 francs par jour en dehors de toute collaboration scientifique, s'ouvre au public lors de chaque *Nuit de la Science* dont la prochaine édition aura lieu à l'été 2020 à Genève.

CARTE BATHYMETRIQUE DU LAC LÉMAN



Ce relief du fond du lac a été obtenu grâce à un « sonar multifaisceau » de très haute précision.

L'acquisition des données a demandé 74 jours de navigation avec « La Licorne » entre 2012 et 2013.

La carte a été réalisée par les équipes de Walter Wildi, professeur à l'Université de Genève, et de Flavio Anselmetti, de l'Université de Berne.

Ce travail a été mis en images dans le film « Le Fjord du Léman », réalisé par Philippe Boucher.

La carte a permis d'identifier un certain nombre de structures sous-lacustres qui étaient inconnues jusque-là, telles qu'une butte de molasse submergée dans le petit lac, des cratères énigmatiques, des zébrures causées par des roches fixées sous le glacier à la sortie du grand lac et une topographie très précise du canyon creusé par le Rhône.

UN LABORATOIRE FLOTTANT AU CHEVET DU LÉMAN

Depuis mi-février, LÉXPLORE, la station de recherche flottante la plus moderne au monde aménagée sur un lac, est ancrée au large de Pully. Créé par Bastiaan Ibelings, professeur au Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau (Faculté des sciences) et ses collègues de l'Université de Lausanne, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne et de l'Eawag (Institut fédéral des sciences et technologies de l'eau),

ce laboratoire monté sur une plateforme de 100 m² est à l'affût des moindres changements touchant les eaux, la faune et la flore du lac. Les appareils montés à bord (une station météorologique pour enregistrer les températures et les vents, des détecteurs de vitesse d'écoulement, de lumière, de turbulences, d'oxygène, de dioxyde de carbone, d'algues et de toutes sortes de substances naturelles et artificielles) sont conçus pour enregistrer toutes les

modifications horaires et saisonnières jusqu'en 2026.

L'idée consiste à suivre au plus près l'état de santé d'un lac qui joue un rôle très important aussi bien pour l'être humain que pour la nature mais qui représente aujourd'hui un écosystème mis sous pression. En dehors des changements d'occupation des sols et des rejets de substances nutritives et polluantes, les changements climatiques exercent un impact non négligeable.

Le réchauffement continu de l'eau augmente la stratification des lacs et modifie la composition du plancton. En particulier, certaines algues bleues (cyanobactéries) prolifèrent et compromettent la pêche et l'approvisionnement en eau potable.

Les résultats seront partagés au fur et à mesure avec tous les utilisateurs du lac, des pêcheurs professionnels aux défenseurs de la nature, en passant par les plaisanciers.

Déchets plastiques sortis du lac à Ouchy au cours d'une opération de nettoyage en 2018 organisée par l'Association pour la sauvegarde du Léman (ASL).

Selon une étude commandée par l'ASL, 50 tonnes de matières plastiques finissent dans le lac et seuls 10% de déchets plastiques sont évacués par le Rhône.

Le plastique durcit et se fragilise avec le temps. Il se dégrade progressivement et produit des micro puis des nanoplastiques qui infestent les eaux, les organismes et l'écosystème.

Les particules ayant une taille supérieure à 5 millimètres sont appelées macroplastiques. Celles dont la taille est inférieure à cette valeur sont considérées comme des microplastiques. Et celles dont la taille est inférieure à 10 microns (millièmes de mm) entrent dans la catégorie des nanoplastiques.



NANOPLASTIQUES EN EAUX DOUCES

Ils sont tellement petits qu'ils sont très difficiles à détecter mais il ne fait aucun doute que des nanoplastiques infestent le Léman. La mauvaise nouvelle, c'est la menace que font planer ces particules d'origine industrielle de moins d'une centaine voire d'une dizaine de millièmes de millimètre sur la santé et les écosystèmes. La bonne – toute relative cependant – est qu'en présence de matières organiques et inorganiques que l'on trouve naturellement dans les lacs et les cours d'eau (composés fulviques, oxydes de fer, polysaccharides) et de différents ions (calcium et magnésium), ces nanoplastiques ont tendance à s'agréger pour former des structures plus grosses qui ont un peu plus de chances de tomber au fond et d'être piégées dans les sédiments que d'être diffusées dans la nature.

Contribution remarquée C'est ce qu'ont pu constater Serge Stoll et Olena Oriekhova, respectivement maître d'enseignement et de recherche et doctorante au Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau (Faculté des sciences), grâce à des expériences menées en laboratoire. Les chercheurs ont étudié les mécanismes physico-chimiques influençant le destin de nanoparticules de polystyrène dans des eaux de différentes qualités. Leur article, qui est un des premiers à s'intéresser à ce phénomène dans un milieu d'eau douce, est paru dans l'édition d'*Environmental Science Nano* du mois de mars 2018. Cette revue de référence a d'ailleurs retenu le papier des chercheurs genevois parmi les dix contributions intégrées à sa promotion.

Chaque année, quelque 50 tonnes de matière plastique finissent dans le lac, selon une étude

récente commandée par l'Association pour la sauvegarde du Léman. Par conséquent, le produit de leur dégradation s'y accumule à son tour. Ce n'est qu'une question de temps avant que, sous l'effet du rayonnement ultraviolet, des processus d'oxydation, de la température ou encore du brassage, les débris se cassent en microplastiques de quelques micromètres puis en nanoplastiques. La nocivité de ces derniers provient surtout de leur extrême petite taille qui leur permet d'être facilement absorbés par les organismes et de s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire.

Surface réactive Ces particules possèdent également une surface très réactive, notamment en raison de leur charge électrique, ce qui leur permet d'interagir fortement avec leur environnement. Cependant, en s'agrégeant avec d'autres composés, la quantité de charges se modifie et finit par neutraliser la réactivité chimique des particules.

Les additifs qui accompagnent souvent les plastiques, pour les rendre plus souples, par exemple, représentent eux aussi un danger potentiel. Ces substances se retrouvent dans les ultimes déchets des polymères ou finissent par former à leur tour des nanoparticules.

« Nous avons travaillé avec du polystyrène nano et à des doses relativement élevées qui ne se rencontrent pas dans la nature, précise Serge Stoll. Notre but est avant tout de comprendre les mécanismes et d'identifier les paramètres importants qui gouvernent le transport de ces nanoplastiques et leur élimination à travers l'agrégation. Nous étudions une composante nouvelle de l'environnement que l'homme a introduite et dont il faut désormais tenir compte. »

SANTÉ

AU XVIII^e SIÈCLE, ON PRISE LES EAUX QUI DÉMANGENT

AU SIÈCLE DES LUMIÈRES, **LES CURES THERMALES** SONT CONSIDÉRÉES COMME UN TRAITEMENT MÉDICAL SÉRIEUR COMPORTANT DE PUISSANTES VERTUS MAIS AUSSI DES RISQUES NON NÉGLIGEABLES.

Au cours de l'été 1777, Isabelle de Charrière s'en va suivre, sur prescription médicale, une cure à Loèche-les-Bains. Femme de lettres d'origine néerlandaise, elle s'est mariée deux ans auparavant et s'est installée à Colombier (Neuchâtel). Elle prend les eaux dans l'espoir de soigner son incapacité d'avoir des enfants et tire de l'expérience un bilan en demi-teinte qu'elle rapporte dans une lettre : « *Je n'ai presque pas dormi en Valais, j'y ai été extrêmement purgée par les eaux et les bains m'ont donné une horrible poussée c'est-à-dire une espèce d'érésipelle* par tout le corps: c'est bien ce qu'on va y chercher mais on en souffre beaucoup, et le voyage qui a suivi cette cure à travers du pays le plus chaud que je connoisse et le plus rempli d'insectes ne m'a guère moins fatigué que la cure elle-même [...].* »

L'idée que toutes les eaux ne se valent pas, qu'elles soient intimement associées à des lieux et qu'elles soient à même d'influencer la santé n'est pas nouvelle. Elle remonte au moins à l'Antiquité. Avant la chimie moderne, l'analyse se fait essentiellement par les sens : l'apparence et le goût. Les eaux deviennent, selon les cas, plus ou moins ferrugineuses, sulfureuses ou encore carboniques et se voient attribuer des vertus thérapeutiques plus spécifiques. La connaissance s'étoffe davantage au XVIII^e siècle avec le développement de la chimie, qui permet d'analyser avec plus de précision les compositions minérales et d'en tirer de nouveaux enseignements.

« *Résultat: au XVIII^e siècle, les eaux représentent une véritable thérapie*, souligne Philip Rieder, maître d'enseignement et de recherche à l'Institut Éthique Histoire Humanités (Faculté de médecine) et auteur notamment de *La figure du patient au XVIII^e siècle* (Droz, 2010). *On a tendance à l'oublier car aujourd'hui le thermalisme est vu comme une mode en*

marge de la médecine qui s'apparente davantage à la relaxation ou à des vacances. Cependant, à l'époque, un bain à la maison ou dans un centre de cure représentait un acte médical sérieux, comprenant des avantages mais aussi des risques. »

Une purge de bon aloi De ce point de vue, le séjour d'Isabelle de Charrière dans la station thermale valaisanne peut être considéré comme un succès. Non pas qu'elle serait tombée enceinte par la suite – elle n'aura jamais d'enfants – mais parce que la cure a provoqué une réaction de son corps, à savoir une purge et le développement de plaques rouges sur la peau.

Comme elle l'affirme elle-même, ce sont des phénomènes attendus. Les eaux de Loèche-les-Bains sont même spécialement réputées pour l'apparition de démangeaisons de peau. La médecine actuelle suspecterait une propreté douteuse de l'eau d'en être la cause mais à cette époque, qui ignore encore l'existence des microbes, on a tendance à favoriser ce genre de réaction.

« *La théorie médicale d'alors est basée sur les humeurs*, précise Philip Rieder. *Le modèle physiologique en compte quatre: le sang, le flegme (une humeur*

humide et froide, partie intégrante du sang, et que l'on crache), la bile jaune (la bile) et la bile noire (la mélancolie). Tout ce qui incite à transpirer, suinter ou à saigner est vu comme plutôt positif, dans la mesure où l'écoulement n'est pas excessif. »

Dans cette logique hydraulique de la physiologie, l'eau trouve une place toute naturelle en tant que remède. D'ailleurs, Isabelle de Charrière, dont la santé est souvent chancelante, est une habituée des soins aquatiques. En 1768, alors qu'elle a 28 ans et souffre de « vapeurs », elle tente déjà une thérapie par l'eau. « *Je me plonge tous les jours dans une cuve d'eau froide, on m'en jette d'abord un pot tout plein sur la tête j'entre dans la cuve je m'assois je me tourne et pendant que [je] suis à genoux le même pot se répand encore sur mon dos, j'enfonc ma tête je me relève et je sors* », écrit-elle dans une lettre à son frère. Quelques années plus tard, atteinte de migraines, elle prend des bains domestiques sur ordonnance du médecin.



Philip Rieder

Maître d'enseignement et de recherche à l'Institut Éthique Histoire Humanités (Faculté de médecine)

Parcours : Thèse en histoire sur la figure du patient au XVIII^e siècle

Maître-assistant à l'Institut d'histoire de la médecine puis chargé de cours au Département d'histoire de l'Université de Genève.

Auteur de publications sur différents thèmes de l'histoire de la santé, des pratiques médicales, de l'économie médicale, des professions médicales, de l'éthique médicale et de la thérapeutique.

*L'érésipèle, selon une définition de 1787, est une maladie qui vient sur la peau, causée par des sérosités âcres, d'où il naît une inflammation ardente. Aujourd'hui, elle désigne une affection dermatologique provoquée par une infection bactérienne, plus particulièrement par des streptocoques.

LES EAUX FACTICES DE GOSSE, SCHWEPPE ET PAUL

En 1790, le pharmacien Henri-Albert Gosse, le mécanicien Nicolas Paul et le bijoutier Jacob Schweppe fondent à Genève une fabrique d'eau minérale artificielle. L'innovation majeure de l'entreprise vient de Nicolas Paul qui parvient à mettre au point une machine capable de comprimer l'air et de l'insuffler dans une bouteille afin d'obtenir une eau gazeuse. Pour que le flacon résiste à la pression, on lui donne une forme ovoïde allongée, au fond arrondi qui l'empêche de tenir debout (*voir image ci-dessous*). Ainsi, le liège, toujours humide, ne laisse pas le gaz s'échapper. L'engouement pour les eaux médicinales est grand à la fin du XVIII^e siècle mais les séjours aux bains n'ont lieu qu'en été. Le reste de l'année, on importe le précieux liquide dans des bouteilles en verre depuis son lieu d'origine –

directement l'air dans la bouteille. De plus, grâce aux talents d'apothicaire et de chimiste d'Henri-Albert Gosse, la qualité de l'eau minérale genevoise dépasse largement celle de ses concurrentes. L'une des raisons est que le produit est basé non pas sur une eau naturelle de la région, dont la composition minérale pourrait varier en fonction des saisons et des conditions climatiques, mais sur une eau distillée, « parfaitement pure », à laquelle on ajoute les minéraux de manière contrôlée.

Mauvaise entente Cette technique permet à la société genevoise de vendre, selon une publicité parue dans le *Journal de Genève*, des eaux de Seltz, de Spa, de Pymont, de Bussang, de Courmayeur, de Vals, de Seidschutz, de Sedlitz, de Balaruc, de Passy et de bien d'autres.

Une bouteille « torpédo » du XVII^e siècle, telle qu'en utilisaient Henri-Albert Gosse, Nicolas Paul et Jacob Schweppe pour contenir une eau minérale gazeuse de leur propre fabrication.

Les eaux minérales « factices », moins chères que celles expédiées directement des centres thermaux parfois lointains, permettaient alors d'offrir des soins à une plus grande population de patients.



un paramètre essentiel à l'époque du point de vue thérapeutique. Le coût du transport et le risque élevé de casser les récipients en font un traitement en ambulatoire très onéreux.

Odeur de soufre C'est pour contourner ce problème que l'on commence à fabriquer des eaux artificielles. Grâce aux progrès de la chimie, on connaît la composition minérale des différents liquides et on essaie de les imiter en ajoutant les ingrédients à des eaux locales. Pour imiter l'eau de Seltz, qui est naturellement gazeuse et très prisée pour cela, on utilise un procédé chimique qui a le désavantage de laisser une odeur de soufre désagréable. Les trois Genevois règlent ce problème grâce à la machine de Nicolas Paul qui comprime

L'entreprise ne dure malheureusement pas longtemps, l'entente entre les trois compères n'étant pas idéale. En 1792, tout est déjà fini. Nicolas Paul s'installe à Paris et Jacob Schweppe se rend à Londres pour d'autres aventures industrielles. Il revient à Genève vers 1802 après avoir cédé les trois quarts de son capital à des industriels anglais. Ces derniers continuent à développer ses produits, lesquels prennent le nom de Schweppes en 1797.

Les trois hommes continuent toutefois leurs activités dans les eaux factices qui représentent un marché important. La Société royale de médecine à Paris recense à la fin du XVIII^e siècle en effet plus de 280 sources d'eaux médicinales en Europe.

CHAMPELLES-BAINS



GENÈVE

GRAND ETABLISSEMENT
HYDROTHERAPIQUE

HOTELS DE 1^{ER} ORDRE
BEAU-SEJOUR ET ROSERAIE



Affiche réalisée en 1894
par Maurice Zimmermann.

Cures négociées « *Il n'existe pas une théorie simple et recon- nue expliquant l'effet de l'eau sur le corps*, note Philip Rieder. *Des ouvrages recensent les différents types de cures réalisées dans les villes d'eau ainsi que les maladies qui y ont été traitées. C'est sur la base de ces livres, ainsi que sur celle d'une connaissance intime du patient que chaque médecin choisit le centre le plus adapté.* »

Cela donne parfois lieu à des négociations entre le praticien et le patient. Ainsi, en apprenant que son médecin décide de l'envoyer à Loèche, Isabelle de Charrière est dévastée. Elle aurait en effet préféré aller à Aix, la station la plus courue de la région, plutôt que d'être confrontée aux mauvaises routes et aux auberges rustiques du Valais qui s'apparentent à ses yeux à une punition. Elle finira néanmoins par se ranger aux arguments de son médecin – cela dit, dès l'été suivant, et malgré les « résultats encourageants » obtenus à Loèche, elle trouve refuge aux eaux de Plombières dans les Vosges. Les cures d'eau ne sont pas considérées comme un traitement anodin. Elles sont souvent prescrites quand les remèdes classiques ne donnent plus de résultats. On estime qu'un tel traitement est en effet suffisamment violent pour débloquent une situation médicale enlisée. Les risques sont d'ailleurs à la hauteur des attentes.

Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) en fait l'expérience. Souffrant d'un problème récurrent de paralysie, le savant genevois a l'habitude de se soigner en allant aux bains. Un jour, pourtant, aux thermes de Bourbon, en Auvergne, alors qu'il prend une douche chaude, il subit une attaque qui paralyse son bras et sa jambe gauche. Sans établir explicitement un lien de cause à effet, il constate la simultanéité des événements. L'épisode renforce l'idée que les bains peuvent avoir des conséquences graves.

Entreprise commerciale Au cours du XIX^e siècle, l'image des cures d'eau se modifie. Le thermalisme devient une entreprise de plus en plus commerciale. Les centres thermaux se multiplient (notamment autour du Léman avec Évian et Thonon) et la pratique est de plus en plus associée au loisir et au bien-être.

Genève voit apparaître son propre lieu de soins, Champel-les-Bains. C'est l'avocat et promoteur genevois David Moriaud qui décide d'utiliser les eaux de l'Arve à des fins thérapeutiques. Il érige un grand établissement hydrothérapique au pied de la falaise et crée en 1874 la Société hydrothérapique de Champel-sur-Arve.

La maison de maître du XVIII^e siècle située sur le terrain devient l'hôtel Beau-Séjour qui, durant un demi-siècle, accueille une clientèle plutôt aisée. On construit aussi la pension de la Roseraie pour les hôtes plus modestes ainsi que divers pavillons entourés par des jardins dont il reste encore quelques exemplaires aujourd'hui. La fausse tour médiévale qui domine l'Arve à cet endroit est construite à cette époque pour offrir un lieu de promenade aux curistes.

Les traitements (douches chaudes ou froides, fumigations et bains) sont placés sous le contrôle du docteur Paul Glatz. Mais l'établissement précise que les clients ne sont pas obligés de passer par les mains du praticien pour profiter de l'endroit. La cure cède petit à petit du terrain face au loisir. Champel-les-Bains offre en effet la possibilité d'assister à des concerts en plein air et à du théâtre, de pratiquer la gymnastique et le tennis.

Après deux guerres mondiales et une raréfaction de la clientèle, le palace de Beau-Séjour est rasé en 1957 et remplacé par l'hôpital actuel du même nom.

ET LES GENEVOIS POMPÈRENT, POMPÈRENT...

Genève étant construite sur une colline, l'acheminement de l'eau potable y a toujours représenté une difficulté. Il existe bien quelques sources mais elles sont toutes situées en bas de la ville. Il fallait donc recourir à des porteurs d'eau et des citernes.

En 1710, Genève demande à l'architecte français Joseph Abeille de construire une machine hydraulique sur le fil du Rhône, à la hauteur du pont de Bel-Air. L'installation pompe de l'eau directement dans la haute ville pour remplir des citernes qui

alimentent les fontaines de la cité. En 1820, on construit une nouvelle usine de pompage sur le pont de la Machine qui est régulièrement agrandie pour répondre à la demande d'une ville en croissance. Dans les années 1870-1880, plusieurs épidémies de choléra et de fièvre typhoïde se déclarent à Genève. La cause ? Les nouveaux quartiers des Pâquis et des Eaux-Vives, ne disposant pas d'égout collecteur, rejettent leurs eaux usées directement dans le petit lac, en amont de la prise d'eau de la machine hydraulique.

Mais personne, à cette époque, ne fait le lien.

En mars 1884, une nouvelle épidémie cause la mort de 65 personnes. Le débat dans les journaux s'envenime, on exige la démission des autorités, on propose de construire un aqueduc pour acheminer vers Genève de l'eau propre depuis le Jura (les Romains l'avaient fait mais depuis les Voirons). Les politiques décident enfin de prolonger la prise d'eau afin de capter le liquide en amont du petit port ainsi que de construire un collecteur pour les égouts.

L'usine des Forces Motrices, dont le bâtiment est depuis devenu une salle de spectacle, est mise en service en 1886. Elle permet à Genève d'entrer dans l'ère industrielle. L'installation fournit de l'eau potable à toute la ville et, surtout, de l'eau sous pression permettant de distribuer de l'énergie aux entreprises qui en ont besoin. Le surplus d'énergie est évacué sous la forme d'un jet d'eau (de 30 mètres de hauteur au début) qui deviendra l'emblème de Genève et sera déplacé dans la Rade quelques années plus tard.