

VINCENT LUCCHESI

Une France sans eau

L'ENQUÊTE



La face cachée de
la disparition de l'eau

ALISIO
SCIENCES

À l'été 2022, la France découvre avec effroi les ravages de la sécheresse. Sous nos yeux défilent des paysages irréels de lacs changés en mers végétales, les incendies se multiplient, plusieurs communes doivent être alimentées en eau par camions-citernes. L'hiver qui suit n'offre pas de meilleures conditions. Entre janvier et février 2023, la France métropolitaine fait face à 32 jours consécutifs sans pluie. Un record !

Ces phénomènes de sécheresse extrême pourraient devenir la norme d'ici quelques décennies à peine. Pourtant, 512 milliards de m³ d'eau tombent, en moyenne, chaque année sur le pays. Où sont-ils passés ?

Sur les routes de France, du Doubs aux Hautes-Pyrénées, le journaliste scientifique Vincent Lucchese mène l'enquête. Vous allez enfin comprendre les fascinants mécanismes du cycle de l'eau, les ressorts de cette crise et comment adapter nos infrastructures et modes de vie pour faire face à ces changements si rapides sans sacrifier les écosystèmes. Entre réchauffement climatique, méandres secrets des sous-sols, agriculture et énergie, Vincent Lucchese nous révèle la face cachée de la disparition de l'eau.



Journaliste scientifique spécialisé en écologie, **Vincent Lucchese** a travaillé pendant plusieurs années pour France 5, puis à la rédaction d'*Usbek & Rica*, avant de rejoindre *Futura* comme rédacteur en chef du magazine papier. Il est aussi l'auteur du podcast *300 Milliards d'étoiles* qui cumule plus d'un million d'écoutes.

19,90 €

Prix TTC
France

ISBN : 978-2-37935-339-0



A L I S I O
SCIENCES

Rayon : Sciences, Actualité

ALISIO

L'éditeur des voix qui inspirent

Suivez notre actualité sur **www.alisio.fr**
et sur les réseaux sociaux LinkedIn,
Instagram, Facebook et Twitter !

Alisio s'engage pour une fabrication écoresponsable !

« Des livres pour mieux vivre », c'est la devise de notre maison.
Et vivre mieux, c'est vivre en impactant positivement le monde
qui nous entoure ! C'est pourquoi nous avons fait le choix de
l'écoresponsabilité. Pour en savoir plus, rendez-vous sur notre site.

Conseil éditorial : Antoine Beauchamp

Éditrice : Olivia Karam

Relecture-correction : Audrey Peuportier

Design de couverture : Primo&Primo

Illustrations de couverture : Istock/© neoblues

Maquette : Sébastienne Ocampo

© 2023 Alisio,

une marque des éditions Leduc

76, boulevard Pasteur

75015 Paris – France

ISBN : 978-2-37935-339-0

VINCENT LUCCHESI

Une France sans eau

L'ENQUÊTE

ALISIO
SCIENCES

*À Fleur et à Marie-Pia,
Indéfectibles amies qui, de la Yamuna aux Agriates,
apprirent avec moi la valeur de l'eau*

Sommaire

Introduction	9
Partie I	
Comment le grand concert du cycle de l'eau se détraque	13
Chapitre 1. Les mystères de l'eau invisible	15
Chapitre 2. La France du futur sera-t-elle un immense désert ?	47
Partie II	
Vices et vertus de l'agriculture	85
Chapitre 3. Première coupable, première victime ?	87
Chapitre 4. Cultiver l'eau, ou comment les paysans peuvent nous sauver	129
Partie III	
L'énergie ou la vie, faudra-t-il choisir ?	155
Chapitre 5. Barrages, centrales nucléaires... pas d'eau, pas d'énergie ?	157
Chapitre 6. Arbitrer les usages : les écosystèmes seront-ils sacrifiés ?	187
Sortir du déni	223
Remerciements	229

Introduction

Le 28 avril 2022, le cycle de l'eau douce dépassait officiellement la limite planétaire soutenable. Plus précisément, une étude parue ce jour-là dans la revue *Nature* estimait que « l'eau verte », la part des précipitations qui passe dans les sols et les végétaux, était sortie de la zone de sécurité, au risque de déstabiliser l'équilibre planétaire de la ressource¹. Il s'agissait de la sixième limite planétaire franchie sur les neuf définies par un groupe de chercheurs internationaux dans un autre article de la revue *Nature* en 2009². « L'eau est le système sanguin de la biosphère. Mais nous sommes en train de modifier profondément le cycle de l'eau. Cela affecte maintenant la santé de toute la planète, la rendant considérablement moins résistante aux chocs », alertait alors l'auteur principal de l'étude, Lan Wang-Erlandsson, du Stockholm Resilience Centre, à l'université de Stockholm.

Dans la foulée, en juin 2022, l'ONU s'alarmait : « La moitié de la population mondiale devrait faire face à une grave pénurie d'eau au cours des huit prochaines années », disait le secrétaire exécutif de la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification, Ibrahim Thiaw, lors de la Journée mondiale de lutte contre la désertification et la sécheresse. Deux phénomènes en progression fulgurante à cause, notamment, du changement climatique.

1. L. Wang-Erlandsson, *et al.*, « A Planetary Boundary for Green Water », *Nature Review Earth Environment* 3, 380–392, 2022, disponible sur doi.org.

2. J. Rockström, *et al.*, « A Safe Operating Space for Humanity », *Nature* 461, 472–475, 2009, disponible sur doi.org.

Au même moment, la France entamait un début de sécheresse préoccupant : d'août 2021 à mai 2022, tous les mois avaient été déficitaires en pluie, à l'exception de décembre 2021, selon Météo-France. Et la situation ne fera qu'empirer au fil de l'année. Les mêmes scènes, de plus en plus récurrentes ces dernières années, vont se répéter : états de « crise sécheresse » déclarées dans une majorité de départements impliquant de drastiques restrictions de l'usage de l'eau, images de terres asséchées, de végétations brûlées et de champs dévastés, lacs au plus bas, voire à sec, communes isolées ravitaillées par camion-citerne en eau potable... Et ce n'est que le début. Les scientifiques préviennent : les vagues de chaleur et les canicules vont se multiplier, les perturbations des précipitations et les sécheresses vont continuer à s'intensifier dans les prochaines décennies, sous les coups de boutoir du dérèglement climatique.

Ça vous angoisse ? Moi aussi. C'est à peu près à ce moment-là, au printemps 2022, que j'ai décidé de prendre à bras-le-corps cette question lancinante : la France va-t-elle manquer d'eau ? Rapidement, d'autres interrogations ont découlé de la première : d'où vient notre eau ? Pourquoi est-elle aussi indispensable au vivant, à l'agriculture, à nos usages ? Quelles sont nos principales consommations ? Comment le réchauffement du climat perturbe-t-il le cycle de l'eau ? Peut-on contrer ces effets ? Comment adapter nos usages de manière pertinente ? Faudrait-il consentir à d'inévitables sacrifices ?

Ces questions m'ont mené jusqu'aux sources souterraines du Doubs, dans les entrailles d'une centrale hydroélectrique des Hautes-Pyrénées, sur le lit asséché des rivières du Poitou et dans les champs et prairies d'agriculteurs du Val de Sèvre et de la Brie. J'y ai trouvé des illustrations concrètes des palanquées de rapports scientifiques épluchés en parallèle et des entretiens menés avec nombre d'hydrogéologues, climatologues et autres agronomes. Le livre que vous tenez entre les mains est le fruit de cette enquête ; loin de prétendre à l'exhaustivité, il tente modestement d'apporter quelques clés de compréhension autour de ces grandes questions.

L'idée d'explorer en détail une problématique aussi anxio-gène que celle des pénuries d'eau à venir pourrait, à première vue, rebuter certains d'entre vous. Dans le contexte de crise écologique globale et d'épuisement des ressources que nous connaissons, j'admets que la perspective d'en remettre une couche n'est guère engageante. Mais, qu'on le veuille ou non, la crise est là. Et puisque l'incertitude et l'ignorance ne font qu'alimenter davantage l'anxiété, décortiquer le fonctionnement des mécanismes à l'œuvre peut être une première tentative de remède.

C'est un leitmotiv personnel : décrypter le monde par la science, comprendre les fascinants phénomènes à l'œuvre dans la nature, dans le vivant, participe d'un émerveillement qui rend la contemplation du monde plus enthousiasmante. Cet ouvrage est aussi une invitation à plonger dans plusieurs de ces phénomènes naturels, physiques et biologiques, à l'occasion de quelques apartés au fil de l'eau. Ils constitueront, je l'espère, autant d'échappatoires salvatrices entre les constats empreints d'une inévitable gravité sur l'avenir de nos ressources en eau.

Précisons également que ce travail d'enquête se borne aux limites de la France métropolitaine. L'eau ne connaît pas de frontières, mais les décisions politiques qui déterminent la manière dont nous modifions les cycles hydrologiques restent tributaires du cadre national. L'enjeu est d'explorer ici ce que nous pouvons anticiper des pénuries d'eau à venir, des défis qu'elles impliquent, et de la manière de les gérer collectivement. Les mécanismes climatiques et hydrologiques en jeu étant très complexes et variables selon les zones géographiques du globe, je ne traite malheureusement pas non plus ici de la situation spécifique des territoires d'outre-mer, car chacun d'eux aurait nécessité une enquête à part entière.

Trois grandes parties structurent ce récit : la première s'attarde sur le fonctionnement fascinant du cycle de l'eau, de ses méandres invisibles, de la manière dont il irrigue la France et dont tout ceci risque de se détraquer. Je me suis ensuite focalisé

sur les deux principaux usages humains consommateurs d'eau en France, l'agriculture et l'énergie. La deuxième partie explore le lien absolument central entre l'eau et l'agriculture, qui est paradoxalement la principale responsable des perturbations du cycle de l'eau tout en détenant les clés des solutions pour l'avenir (ce qui permet d'apporter une touche d'optimisme bienvenue). La dernière partie se penche sur le cas de nos centrales, hydroélectriques et nucléaires, qui dépendent elles aussi fondamentalement de nos rivières et les modifient fortement pour nous fournir de l'énergie. Cette partie est également l'occasion de creuser la question posée en filigrane dans l'ensemble de ce livre : quelle place est-on prêts à laisser aux milieux et aux êtres vivants, premiers usagers de l'eau du pays ?

Le risque de voir une partie des écosystèmes dépérir est réel, à mesure que les tensions sur la ressource imposeront des arbitrages de plus en plus drastiques. De même que le risque de subir nous-mêmes les conséquences dramatiques de ces sécheresses, si nous n'anticipons pas suffisamment pour nous adapter de manière pertinente. Mais n'allons pas trop vite et reprenons depuis le début.

PARTIE I

Comment le grand concert du cycle de l'eau se détraque

CHAPITRE 1

Les mystères de l'eau invisible

À la recherche de l'eau perdue du Doubs

Devant nous s'étend un paysage irréel. Là où devrait couler le Doubs, dont la largeur en ces lieux lui vaut le titre de lac de Chaillexon, ne règne plus qu'une mer végétale. Seul subsiste un mince filet d'eau, que l'on croit deviner au loin entre les hautes herbes. Quelques barques sur le flanc accentuent l'effet de désolation. « C'est dramatique de voir le Doubs à sec comme ça. Et dramatique de voir toutes ces plantes qui ont poussé. C'est presque une double disparition. Comme si une autre vie était en train de prendre la place... », lâche avec mélancolie Cédric Bôle. Nous sommes au cœur de l'été 2022, en pleine sécheresse, lorsque le maire de Morteau m'accueille dans sa ville, à quelques encablures de la frontière suisse. Le lit de la rivière, lorsqu'il n'est pas encore tapissé de verdure, laisse apparaître une terre argileuse craquelée comme un vieux parchemin. « Celui-ci, c'est le rocher de la Casquette. » Mon guide pointe une proéminence rocheuse. En période de crue, sa silhouette en forme de couvre-chef de marin affleure à peine à la surface. Aujourd'hui, la roche nue s'élève près de 8 m au-dessus du lit à sec. Depuis le 29 juillet, le préfet a placé le Haut-Doubs en alerte « crise sécheresse », le plus haut niveau de restriction des usages de l'eau.

Le jour même où je me trouve à Morteau, le 10 août, le niveau de crise est étendu à l'ensemble du département. Ça plante le décor.

La France entière connaît en réalité à ce moment-là une situation exceptionnelle. Les records et pénuries d'eau s'enchaînent : le 12 août, 93 départements connaissent des restrictions d'usage de l'eau, dont 74 placés en niveau de crise, selon le décompte du ministère de la Transition écologique. Les déficits de pluies sont réguliers depuis septembre 2021, et le printemps 2022 culmine à 45 % de déficit de précipitations, d'après Météo-France. Le niveau de précipitations cumulées entre janvier et août est le deuxième plus bas jamais enregistré depuis le début des relevés en 1959. Le mois de juillet 2022 est quant à lui le plus sec jamais enregistré. Trois vagues de chaleur successives entre juin et août portent le coup de grâce. L'indice d'humidité des sols, déficitaire depuis janvier, bat le record de sécheresse absolu début août, à l'échelle de la France métropolitaine. Au même moment, le gouvernement recense une centaine de communes dépourvues d'accès à l'eau potable. Les nappes phréatiques se vident. Les journaux télévisés multiplient les images d'habitants démunis devant les robinets qui refusent de couler. À Vault, dans le Vaucluse, la commune distribuait fin juillet de l'eau en bouteille aux habitants : 2 litres par jour et par personne. Au Pays basque comme en Isère, des citoyens incrédules voient des camions-citernes leur livrer de quoi boire. À Gérardmer, dans les Vosges, la municipalité a pris la décision de pomper l'eau du lac pour endiguer la pénurie.

La répétition de ces scènes aux quatre coins du pays marque les esprits. Le nombre de Français touchés par une pénurie d'eau potable reste certes modeste, mais la vulnérabilité devient concrète pour tout le monde. Surtout, le sixième rapport d'évaluation du Giec¹ souligne que la fréquence, l'ampleur et la durée des sécheresses vont s'accroître à mesure que le réchauffement climatique de la Terre s'aggravera. Si nous atteignons un tel pic

1. Voir sur ipcc.ch : « Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability », le deuxième volet du sixième rapport d'évaluation du Giec, publié en février 2022.

en 2022 alors que le réchauffement global est pour l'instant de 1,1 °C, à quoi ressemblera le manque d'eau en France lorsque le réchauffement montera de près de 3 °C, ce qui constitue notre horizon d'ici la fin du siècle si l'on poursuit sur la trajectoire actuelle ? Ce scénario catastrophique étant loin d'être le plus pessimiste...

Avant de plonger dans les austères et angoissants rapports scientifiques, il me faut aller sur place pour prendre la mesure du phénomène. La crise est tellement généralisée que j'ai l'embarras du choix quant à ma destination. Je décide finalement de me rendre dans le Doubs, où coule avec difficulté la rivière éponyme et où la pénurie est déjà récurrente. Morteau, accessoirement, affiche un nom prédestiné (« morte eau ») qui, on le verra plus loin, est révélateur de mécanismes œuvrant sur le long terme.

En ce qui concerne les pénuries, le tournant, ici, eut lieu en 2018. Pour la première fois cette année-là, les quelque 7 200 Mortuaciens ont dû être ravitaillés en eau potable pendant quinze jours par camion-citerne. « Ce fut un choc pour tout le monde de s'apercevoir qu'on était aussi vulnérables », se souvient Cédric Bôle. Chaque été depuis, les tensions sur l'approvisionnement en eau s'accroissent, avec une intensité variable, et le Doubs apparaît à sec presque systématiquement. En approchant de la ville par le TER, pourtant, rien ne laisse présager de la crise en cours. Les rails longent la rivière, généreusement gonflée, parsemée de touristes bariolés qui l'explorent en kayak et en paddle. Mais la scène de joyeuse abondance s'arrête net un pont plus loin. Un petit barrage, vestige des moulins et du passé industriel de la ville, y entretient artificiellement l'illusion. En aval, le courant affaibli laisse proliférer algues et nénuphars. Comme une préfiguration du lac d'herbe de Chaillexon qui s'est enraciné quelques kilomètres plus loin. En fait, la rivière semble étrangement se dessiner en pointillé. Si l'on poursuit après le lac asséché, l'eau reprend à nouveau un peu de vigueur. Elle s'accumule dans une vallée encaissée en *u*, formant de petites gorges couvertes d'épicéas, typiques des forêts exploitées de cette région de moyenne montagne. Mais l'eau est trop basse : ce qui devrait

déboucher sur le torrentiel et spectaculaire saut du Doubs n'est plus qu'un cul-de-sac où l'eau stagne. Les bateaux qui charrient d'habitude les touristes jusqu'à la cascade de 27 m pataugent à vide. En contrebas, la chute s'est tue. « Ça fait quarante ans que je suis dans les bateaux, et c'est la première fois que je vois une telle sécheresse », se désole Françoise Droz-Bartholet, de la compagnie du même nom. Cette situation est surtout radicale par sa précocité – en 2018 le niveau était encore plus bas, mais la crise avait atteint son apogée en octobre. Cette année, la sécheresse frappe en plein cœur de la période touristique et l'entreprise de bateaux à vapeur accuse une chute de 80 % de son chiffre d'affaires sur le mois de juillet. « On essaye de s'adapter, on propose toujours la visite sur la partie des gorges du Doubs qui reste navigable. On fera le bilan à la fin de la saison, mais si une année comme 2022 venait à devenir la norme, ça deviendrait compliquer de continuer », admet Françoise, dont le mari, son père et son arrière-grand-père avant lui organisaient déjà des descentes du Doubs.

Si ce n'est pas directement l'eau de la rivière que boivent les Mortuaciens, son débit est révélateur de l'état des nappes phréatiques. À Mouthe, où la rivière prend sa source, il n'atteint guère plus de 20 litres par seconde : c'est dix fois moins que la moyenne la plus basse atteinte sur un mois d'août². Pour l'instant, la ville tient bon et puise encore une partie de ses besoins estivaux dans sa propre source souterraine. Mais la rentrée risque de tendre la situation : la reprise des activités des entreprises, des écoliers, collégiens et lycéens augmentera les besoins quotidiens. Et si depuis 2018 la ville s'est dotée d'une solution de secours avec une unité amovible qui pompe directement l'eau du Doubs et alimente les réseaux d'eau potable via un système d'ultrafiltration, encore faut-il pour cela qu'il reste de l'eau à puiser dans la rivière... « C'est une solution temporaire et vulnérable, reconnaît

2. D'après les données hydrométriques relevées en temps réel et transmises sur Hydreel, le serveur de l'État. Ces données donnent un ordre de grandeur en « temps réel » mais ne sont toutefois « ni critiquées, ni validées, susceptibles d'être modifiées, et n'ont aucune valeur officielle », précise la base de données sur rdbrmc.com.

le maire. On a aussi réalisé sept forages pour trouver d'autres sources, mais qui n'ont rien donné de satisfaisant. » La solution pérenne viendra de travaux d'interconnexion avec un gros syndicat de distribution d'eau potable voisin, qui devrait connecter le territoire aux réserves plus généreuses du bassin de la Loue dans les années à venir.

En attendant, chaque goutte compte. La ville tente d'avancer sur les mesures de sobriété, qui seront de toute façon indispensables. Pour montrer l'exemple, la mairie a renoncé à la plupart des fleurs qui ornaient la façade et la place. Les autres massifs de la ville ont été remplacés par des variétés moins gourmandes en eau, et une cuve reliée au toit de l'église permet de collecter l'eau de pluie pour l'arrosage. Suffisant pour entraîner un effort collectif des citoyens ? C'est loin d'être évident. L'arrêté préfectoral de crise sécheresse interdit l'arrosage des pelouses et potagers (sauf la nuit avec de l'eau de pluie pour ces derniers) ainsi que le remplissage des piscines et le lavage des façades et des voitures. « Beaucoup de gens se sont précipités à la station de lavage juste avant l'entrée en vigueur de l'arrêté. La prise de conscience est loin d'être partagée par tous », maugrée le maire qui se veut tout de même optimiste : la consommation d'eau est légèrement plus basse cet été que les années précédentes à la même période. Cédric Bôle veut y voir le signe du début d'une prise de conscience collective de ses administrés.

Dans l'immédiat, les sources d'économie d'eau restent limitées. À l'échelle des communes, un levier d'action important concerne la réduction des fuites sur les réseaux de distribution. Un rapport³ de l'Office français de la biodiversité (OFB) sur le sujet estimait en 2020 les fuites à 19,9 % du volume total d'eau potable distribué, soit « près de 937 millions de mètres cubes, l'équivalent de la consommation annuelle d'environ 18 millions d'habitants ». Aussi, le décret « fuites » pris par le gouvernement en application des lois Grenelle de l'environnement impose-t-il,

3. « Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement. Panorama des services et de leur performance en 2020. »

depuis 2013, aux collectivités locales, une obligation de rendement minimum de 85 %. Mais à Morteau, il oscille déjà entre 82 et 90 %, assure la commune, un niveau pas loin d'être optimum d'après l'OFB, qui précise qu'un objectif de rendement de 100 % serait « irréaliste ».

Reste un autre champ d'action possible : désimperméabiliser le sol. Dans les zones urbaines couvertes de béton et bitume, l'eau de pluie ruisselle et gagne rapidement les cours d'eau puis l'océan au lieu de remplir les stocks du sous-sol. Cette artificialisation des sols est un fléau en progression constante, car elle dégrade les terres de manière souvent irréversible, accélère le ruissellement et détériore le stockage du carbone, donc le climat. La France métropolitaine est passée de 5,2 % de sols artificialisés en 1982 à 9 % en 2018, selon l'Insee. Dans le val de Morteau, le sort réservé au petit ruisseau de la Tanche est emblématique de cette dynamique. La Tanche prend sa source dans la commune des Fins, attenante à Morteau, et coule quelques kilomètres à peine avant de se jeter dans le Doubs. Au passage, elle a tout de même pris le temps de faire naître un marais, un type de zone humide connu pour sa richesse en biodiversité ainsi que pour ses capacités à stocker l'eau et en ralentir l'écoulement. Des vertus qui n'ont guère ému les responsables de l'aménagement du territoire dans les années 1950 quand l'heure était à l'urbanisation, au quadrillage propre et net de l'environnement : les méandres bien trop encombrants du petit ruisseau ont purement et simplement été « rectifiés ». Le cours d'eau devenu linéaire est passé d'une longueur de 2 km en amont du marais à 1,1 km, les écoulements se sont accélérés, les moulins des scieries locales ont pu utiliser son énergie tandis que les truites et les perches privées de zones de reproduction ont déserté les lieux. Les fossés et drains construits autour du marais lui ont fait perdre une partie de son humidité et ont permis son exploitation agricole par la fauche. Et pour finir, une zone commerciale dernier cri et imperméable est venue recouvrir une partie du ruisseau, la Tanche disparaissant aujourd'hui à l'orée du Darty.

Dans les années à venir, ce ruisseau doit faire l'objet d'une vaste réhabilitation. L'Établissement public d'aménagement et de gestion de l'eau (Epage) Haut Doubs Haute Loue est chargé du projet qui doit redonner à la Tanche son kilomètre de méandres perdus et permettre au marais de regagner un peu en humidité et en biodiversité. Le rehaussement du niveau des eaux devrait toutefois rester modeste, peut-être 10 cm en période d'étiage, mais cela peut ne pas être négligeable sur la douzaine d'hectares que compte le marais. « Chaque litre qui ne s'échappe pas est bon à prendre sur le Doubs », souligne Jean-Noël Resch, chargé de mission à l'Epage.

Toutes ces solutions aideront probablement, litre par litre, à limiter les pénuries. À terme, malgré tout, la situation devrait devenir de plus en plus critique. Car l'aggravation du changement climatique ne fera qu'accentuer ici la précarité de l'eau de surface, intrinsèque aux rivières karstiques, comme nous allons le voir. En 2018, le Doubs a connu une sécheresse historique, mais seulement après avoir offert aux Doubiens qui peuplent ses rives, dans la première moitié de l'année, sa plus intense crue du siècle ! Un comble... et une curiosité géologique qui peut paraître bien mystérieuse aux non-initiés du massif jurassien et de son sous-sol. Rassurez-vous, c'était aussi mon cas. Comme toujours, la réalité du terrain est bien plus complexe que prévu. Je vous emmènerai explorer les galeries souterraines du Doubs à la fin de ce premier chapitre. Mais avant cela, pour bien saisir les enjeux, il nous faut faire un détour scientifique, dézoomer à l'échelle de la planète et explorer les fascinants mécanismes du cycle de l'eau.

Tour d'horizon cosmique de l'eau terrestre

Commençons par un paradoxe. Avant de vous expliquer pourquoi nous risquons de plus en plus de manquer d'eau à l'avenir, il faut d'abord rappeler que l'eau est une ressource abondante, omniprésente... et inépuisable. À l'échelle de la Terre, du moins. Sans tenir compte de l'eau incorporée aux minéraux en

grande profondeur dans le manteau terrestre, l'eau sous toutes ses formes s'agitant en surface, dans l'air et dans les nappes phréatiques, représente l'équivalent de quelque 1,4 milliard de kilomètres cubes d'eau liquide. Si vous avez du mal à vous figurer le sens d'un tel nombre, dites-vous que si la Terre était une sphère parfaitement lisse, dépourvue de montagnes et de fosses océaniques, l'eau la recouvrirait intégralement, sur 3 km d'épaisseur. C'est colossal, quoique modeste à l'échelle de la planète. Tentons une autre image : si toute cette eau était rassemblée en une grosse boule flottant au-dessus de la Terre, elle présenterait un diamètre d'environ 1 400 km. C'est un peu plus large que la France : de quoi faire de l'ombre de Londres à Porto-Vecchio, ou de Brest à Berlin.

Voilà pour l'abondance. Je vous promettais aussi une ressource inépuisable. C'est vrai... sur quelques milliards d'années seulement. Les océans, qui constituent la quasi-totalité de l'eau de surface (96,5 % plus précisément), ont un volume remarquablement stable. Il faut savoir que l'origine exacte de ce stock d'eau terrestre fait encore débat parmi les scientifiques. Lorsque la Terre s'est formée par l'agglomération de gaz et de poussières tournant autour du jeune Soleil, il y a 4,5 milliards d'années, la température était trop élevée pour que des particules de glace se joignent aux roches des planétoïdes naissants, et on a longtemps cru que la Terre était d'abord apparue « sèche ». De récents travaux suggèrent toutefois que de l'hydrogène (H), élément le plus abondant de l'Univers, de l'oxygène (O) et même de la vapeur d'eau issus de leur rencontre (H_2O) ont pu être piégés dans les roches de la Terre en formation, ou « proto-Terre ». L'eau liquide aurait pu ensuite atteindre la surface par dégazage sur la jeune planète en proie à une intense activité volcanique. Il reste cependant un problème, car l'essentiel de cette eau aurait dû s'échapper dans l'espace à cause de la chaleur extrême et du bombardement constant de la Terre dans l'environnement chaotique du début du Système solaire. Et notamment lors du choc cataclysmique entre la Terre et l'astre Théia, suspecté d'être à l'origine de la Lune. L'autre théorie propose donc une origine extraterrestre et un peu plus tardive de l'eau, il y a 4,4 milliards

d'années, apportée lors d'un bombardement massif de la Terre par des comètes et astéroïdes hydratés, venues d'une région suffisamment lointaine et froide du système solaire pour que de la glace d'eau y ait perduré. L'eau qui tourbillonne aujourd'hui dans nos océans provient probablement d'un mélange de ces deux théories.

Pour les océans primordiaux, toutefois, le plus dur restait à faire : survivre. Ce qui n'a rien d'évident lorsque l'on jette un œil à notre désertique voisine Mars, où coulaient pourtant jadis de joyeuses rivières se déversant au sein de vastes mers. Sur Terre, l'eau a fait preuve de véritables talents d'équilibriste pour être actrice de sa propre longévité en participant à plusieurs mécanismes clés. Le premier est celui de la régulation du climat : l'eau joue un rôle majeur dans le cycle du carbone, permettant notamment le pompage régulier, à l'échelle des temps géologique, du dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique. Celui-ci se dissout dans la pluie, puis réagit avec les roches silicatées des continents et finit par être emporté au fond des océans, où il se fige sous forme de sédiments pour des millions d'années. En participant à la régulation du CO₂ atmosphérique et donc à l'effet de serre, l'eau s'est offert un climat propice à son maintien à l'état liquide. Car pour couler des jours tranquilles, elle doit éviter l'excès d'effet de serre autant que son absence : sans effet de serre, la température moyenne sur Terre serait de -18 °C, contre 15 °C aujourd'hui. Des ratés dans ce mécanisme ont déjà joué des tours aux océans par le passé : il y a 650 millions d'années, une intensification des pluies a accentué la fixation du CO₂ dans les roches dissoutes et abouti à une baisse drastique de l'effet de serre, au point de générer une glaciation globale pendant des millions d'années. C'est l'un des épisodes de « Terre boule de neige » qu'a connu notre planète.

Un deuxième mécanisme de régulation a évité à l'eau de s'échapper entièrement dans l'espace (comme c'est arrivé à Mars, notamment à cause du vent solaire, des particules chargées éjectées de notre étoile et qui arrachent petit à petit des molécules de l'atmosphère de la planète). La Terre est protégée

de ce phénomène grâce à son champ magnétique. En revanche, elle n'est pas immunisée contre l'action des rayons ultraviolets (UV) émis eux aussi par le soleil et dont l'énergie, dans la haute atmosphère, est assez forte pour casser la liaison entre l'oxygène et l'hydrogène, dissocier les molécules d'eau et permettre à l'hydrogène de s'échapper dans le cosmos. C'est le sort qu'a subi une grande partie de l'eau de Vénus, plus proche que nous du Soleil et d'autant plus soumise à la puissance de ses rayonnements.

Sur Terre, cette fois-ci, c'est l'atmosphère qui a sauvé l'eau. À basse altitude, celle-ci est assez épaisse pour protéger la vapeur d'eau des UV. À mesure que l'eau s'élève vers la haute atmosphère, le danger s'accroît pour elle, mais la température, dans le même temps, diminue : cela constitue un salvateur « piège froid » qui condense l'eau en nuages et l'empêche de s'élever trop haut. Ainsi, dans la stratosphère, au-delà de 12 km d'altitude, l'eau ne constitue guère plus de 0,0001 % de l'air ! L'eau dissociée par les UV est donc minime. Si l'on reprend l'image d'une Terre parfaitement lisse, sur laquelle l'eau s'étalerait sur 3 km d'épaisseur, on estime que la planète n'a perdu à cause des UV qu'un mètre d'eau par milliard d'années.

La voie des airs est donc solidement verrouillée. Mais une autre fuite a été détectée, de l'autre côté : la croûte océanique est en effet loin d'être étanche. Des minéraux hydratés s'y forment en permanence, s'accaparant une partie de l'eau des abysses, comme par exemple la serpentine, un minéral contenant 12 % de son poids en eau. « Sans un retour massif de l'eau de la croûte océanique, l'eau des océans disparaîtrait en moins de 100 millions d'années », calcule dans un ouvrage collectif⁴ le géochimiste Pierre Cartigny. On peut noter au passage qu'en hydratant les roches et en jouant sur leurs propriétés mécaniques, l'eau exerce un rôle fondamental dans le mécanisme de subduction, là où les plaques océaniques plongent sous les plaques continentales. C'est ce moteur de la tectonique des plaques qui

4. *L'Eau à découvert*, sous la direction d'Agathe Euzen, Catherine Jeandel et Rémy Mosseri, CNRS Éditions, 2015.

permet, entre autres, la formation des reliefs, des montagnes, des continents, et contraint l'océan à n'occuper que 70 % de la surface du globe. Dans le processus toutefois, d'énormes quantités d'eau sont ainsi injectées dans le manteau de la Terre et, bien que les estimations soient très délicates, celui-ci pourrait contenir autant voire plusieurs fois le volume d'eau de nos océans de surface ! Fort heureusement, dans ces zones de subduction, la pression et la température provoquent d'autres réactions qui aboutissent à une remontée d'eau en surface. Le volcanisme, au niveau des dorsales océaniques notamment, contribue aussi à réinjecter cette eau profonde vers la surface, pour un résultat qui semble équilibré depuis plus de 2,5 milliards d'années.

Voilà comment, après ce rapide et non exhaustif récit des origines des eaux planétaires, nous pouvons affirmer que notre 1,4 milliard de kilomètres cubes d'eau liquide est une réserve stable et inépuisable sur laquelle nous autres Terriens devrions pouvoir compter encore quelques centaines de millions d'années. Reste maintenant à comprendre comment est orchestré le cycle de l'eau et par quelle ironie du sort nous risquons d'avoir de plus en plus soif dans un monde largement inondé.

Le Soleil, l'eau douce et nous

Non contente d'empiler les milliards et milliards de tonnes, l'eau est aussi hyperactive. En mouvement perpétuel, elle change d'état et de vitesse pour infiltrer les coins les plus reculés du monde et embrasser toutes les temporalités. Dans l'atmosphère, les molécules gazeuses surexcitées séjournent à peine huit jours avant de se condenser et de retomber en myriades de gouttes de pluie pouvant dépasser les 30 km/h. Les glaciers, si massifs et inamovibles au premier abord, creusent les montagnes en glissant chaque année de quelques centaines de mètres. L'eau gelée peut y attendre patiemment la fonte pendant des milliers d'années et, une fois liquéfiée, dévaler en torrents, gonfler en rivières et confluer jusqu'à l'estuaire pour rejoindre la mer en quelques jours seulement. Dans les profondeurs du sous-sol, l'eau

piégée par des couches imperméables peut mettre 20 000 ans à trouver la faille vers la surface. Au cœur des océans, la puissante circulation dite « thermohaline » brasse l'eau de la surface aux abysses, de l'Atlantique au Pacifique en passant par l'océan Indien, tel un gigantesque tapis roulant qui met plus de mille ans à boucler la boucle.

Vous vous souvenez des grosses flèches bleues et des schémas colorés du cycle de l'eau que vous aviez appris à l'école ? Ce grand cycle de l'eau qui s'évapore des océans puis se condense en nuages, tombe en pluie sur les continents puis s'écoule jusqu'aux fleuves et retourne à la mer ? En réalité bien plus complexe, tels les rouages d'une vaste machine, la grande boucle de l'eau est composée de plusieurs boucles plus petites. Par exemple, sur les 420 000 km³ s'évaporant chaque année des océans (à 20 % près, selon les estimations des chercheurs⁵), 90 % retournent directement à la mer, sous forme de pluie, sans passer par les continents. Sur la terre ferme, à l'inverse, la majorité de l'eau qui tombe du ciel (110 000 km³ par an) est issue d'une vapeur d'eau qui ne vient pas de l'océan mais de l'évapotranspiration des sols et des végétaux. Et on pourrait encore multiplier les exemples. Mais au fond, pourquoi toute cette agitation ? Qu'est-ce qui fait tourner le cycle de l'eau ? La réponse tient en un mot : le Soleil. L'énergie thermique transmise par les rayonnements solaires est le moteur fondamental de ce grand ballet hydrique. Plus précisément, les contrastes de chaleur, associés à des contrastes de salinité, modifient localement la densité de l'eau, font plonger l'eau froide et dense, remonter l'eau chaude, et actionnent ainsi le tapis roulant des courants océaniques. De même, les contrastes de températures entraînent-ils les mouvements de l'atmosphère, dont les vents sont aussi liés aux mouvements de surface des océans.

Quant à l'évaporation, elle se produit à température ambiante sous l'action du Soleil, ce qui vous semble peut-être assez singulier si, comme moi, vous aviez en tête que l'eau, au niveau de la

5. Voir par exemple l'étude B. W. Abbott *et al.*, *Nature Geoscience* 12, 533-540, 2019.