

Pour aller plus loin

Auteurs : Ghislain DE MARSILY(plus d'infos)

Résumé : Et pour aller plus loin, quelques questions d'enseignants

Publication : 7 Mai 2014

.

À quel moment les nappes phréatiques se remplissent-elles ?

L'eau de pluie s'infiltré en profondeur en hiver (octobre à mars), quand il pleut et que l'évaporation est faible. Mais l'eau qui s'infiltré dans le sol peut mettre longtemps à arriver jusqu'à la nappe, si celle-ci est profonde : environ six mois pour une nappe dont la surface libre est à 50 m sous le sol, par exemple. Si la nappe est à quelques mètres sous le sol, l'eau y arrive plus vite, en une à plusieurs semaines...

Quelle est l'influence de la fonte des neiges sur l'infiltration ?

Les précipitations qui tombent sous forme de neige restent sur le sol tant qu'il fait froid. Quand la température se radoucit, la neige fond et se sublime également (c'est-à-dire qu'elle passe directement de l'état solide à l'état de vapeur). L'eau fondue s'infiltré dans le sol, s'il n'est pas gelé, et ruisselle également. Si la fonte de la neige est lente et si le sol est bien perméable, l'infiltration est favorisée et le ruissellement limité. Les nappes sont alors bien rechargées.

D'où vient l'eau sur Terre ?

La Terre s'est formée par l'agglomération de poussières interstellaires, qui se sont assemblées en nuage froid autour du Soleil lors de la formation de celui-ci, par attraction gravitationnelle. Ces poussières, dont certaines contenaient déjà de l'eau, se sont d'abord regroupées en petits objets appelés planétésimaux, d'un kilomètre de rayon environ. Ces planétésimaux, en se percutant les uns les autres pour s'assembler en planètes, se sont échauffés grâce à l'énergie cinétique produite par la collision et ont amené les planètes formées à fondre. Cette fusion a entraîné une différenciation de la matière dans les planètes : sur la Terre, le fer et le nickel fondus se sont accumulés au centre, tandis que les éléments plus légers comme les roches et l'eau s'accumulaient à la surface. On pense cependant qu'il reste, dans le manteau de la Terre, c'est-à-dire entre 70 et 2 900 km de profondeur, un volume d'eau de l'ordre de 0,3 % en poids des roches (en semi-fusion) qui le constituent. Ce volume d'eau, qui est du même ordre que le volume contenu dans tous les océans du monde, est totalement inexploitable...

On pense aussi que l'eau sur Terre a une seconde origine : une fois la Terre formée, elle aurait été bombardée à la fois par des comètes, venues de la ceinture située au-delà de Pluton, faites pour l'essentiel de glace, et par des météorites ferreuses contenant un peu d'eau. Une grande partie de l'eau actuellement connue sur Terre pourrait venir de ces comètes et météorites, dont le rythme de percusion avec la Terre s'est maintenant ralenti. Notons qu'une telle comète est tombée en 1994 sur Jupiter (la comète Shoemaker-Lévy, du nom de ses découvreurs) et qu'une autre a pu tomber sur Terre, en Sibérie, en 1909...

D'où vient le sel de la mer ? La salinité de la mer a-t-elle augmenté au cours des temps géologiques ?

C'est une question difficile, encore imparfaitement comprise. Le sel proviendrait simplement de la dissolution des sels contenus dans les roches sur lesquelles l'eau ruisselle ou dans lesquelles elle s'infiltré. L'eau étant un puissant solvant, elle dissout toujours quelque chose ; inversement, les chlorures sont des éléments très solubles, ils sont donc dissous très facilement. Pour les roches sédimentaires, la grande majorité d'entre elles se sont formées en milieu marin, il est donc normal qu'elles contiennent du sel de mer. Il faut savoir qu'il existe aussi des roches entièrement faites de sel : on les appelle évaporites. Ces roches se forment par évaporation de l'eau de mer en climat aride, dans des bassins fermés en communication épisodique avec la mer (pour y amener l'eau à évaporer) ou simplement alimentés en eau de rivière peu chargée en sel, mais qui, en s'évaporant, laisse tout son sel sur place. Ces bassins fermés où l'eau s'accumule dans des cuvettes et s'évapore s'appellent systèmes endoréiques, ou, en arabe, Chott ou Sebkhass. Il y a cinq millions d'années, par exemple, le détroit de Gibraltar s'était fermé, la Méditerranée s'est asséchée, et l'eau de tous les fleuves qui s'y écoulait s'est évaporée au fond, formant de nombreuses couches de sel qui sont maintenant enfouies sous la mer (et protégées par des couches d'argile), car cet assèchement n'a duré que 500 000 ans, et Gibraltar s'est réouvert. Notez que Gibraltar va probablement se refermer d'ici 500 000 ans, du fait de l'avancée de la plaque africaine vers la plaque eurasiennne ! En France, certaines couches de sel remontent près de la surface et y sont exploitées, comme en Lorraine, près de Nancy. En Alsace, les couches de sel sont exploitées en profondeur, et l'on en extrait de la potasse (mines de potasse d'Alsace). Dans les bassins du Sud-Est, du Sud-Ouest, en Camargue, on trouve des dômes de sel en profondeur... Toutes ces couches salées perdent un peu de leur sel chaque année au contact des eaux souterraines, qui l'emportent vers les rivières et vers la mer.

Pour les roches cristallines (granites, roches volcaniques, roches métamorphiques), le sel vient de la dissolution de certains minéraux qui s'altèrent, comme les micas.

La raison pour laquelle la salinité de la mer est constante est plus complexe. On pense en effet qu'elle est la même depuis quelques centaines de millions d'années, car certains organismes marins qui y vivent aujourd'hui sont très proches de ceux que l'on retrouve comme fossiles dans les roches anciennes, et qui n'existeraient pas si la mer avait été plus salée ou moins salée. Pourtant, si l'on fait le bilan de la quantité de sel qui arrive par les rivières à la mer, il apparaît que la salinité de la mer devrait doubler tous les 200 000 ans environ. Pour expliquer que la salinité reste constante, il faut donc que du sel disparaisse de la mer. On pense que cette disparition de sel se produit dans les zones de subduction : quand une plaque lithosphérique « plonge » sous une autre, elle entraîne avec elle de l'eau de mer et du sel, contenus dans les anfractuosités des roches, par exemple les interstices entre les grains, les espaces ouverts dans les fractures. Du sel disparaît ainsi vers le manteau... Mais ceci reste aujourd'hui une hypothèse.

Quel sera l'influence de l'effet de serre sur le cycle de l'eau ?

L'élévation de la température de la Terre due à l'effet de serre aura, dit-on, une influence notable sur le cycle global de l'eau : il pleuvra en moyenne sur le globe plus qu'aujourd'hui. Mais la répartition de la pluie sera affectée : il pleuvra davantage sous les tropiques, moins sous les latitudes moyennes, comme autour de la Méditerranée, et de nouveau plus sous les hautes latitudes. Le problème est de savoir où se situeront les limites entre ces zones. Pour la France, on pense que la limite passera à peu près au centre de la France, vers Lyon. Il pleuvrait donc plus au nord de Lyon, moins au sud. Le « hic », c'est qu'il y a une très grande incertitude sur la position de cette limite : c'est la latitude de Lyon, plus ou moins 1 000 km ! Mais les effets pourraient être très significatifs. Les Espagnols se plaignent déjà que, à cause de l'effet de serre, la pluie chez eux a diminué en trente ans de 5 %. Mais on pourrait aller jusqu'à des variations de 20 %, ce qui est énorme... L'Australie est depuis quelques années en très fort déficit de pluie.

Qu'en est-il du paradoxe entre la fonte annoncée des icebergs et le manque d'eau douce ? Serait-il possible de les utiliser ?

Avec ou sans effet de serre, les icebergs fondent naturellement : ce sont des morceaux de la banquise qui se détachent, et s'éloignent des pôles, en dérivant par les courants, tout en fondant. L'effet de serre va simplement accélérer cette fusion. On a pensé à les utiliser, en les entourant d'une « jupette » de plastique (sans fond) qui séparerait la glace de l'eau salée. On les tirerait ensuite vers un pays aride, avec des remorqueurs. Comme les icebergs sont parfois très gros, ce remorquage pourrait prendre plusieurs mois, voire plusieurs années. Une fois sur place, ce qui n'a pas fondu pourrait être utilisé et on récupérerait l'eau douce entre la glace et la jupette : l'eau de mer, plus lourde, restant en bas, l'eau douce, plus légère, en haut, il suffirait de pomper l'eau douce en haut de la jupette. C'est donc techniquement possible ; il faut cependant couvrir la glace pour empêcher les oiseaux de venir se baigner dans l'eau douce, car ils la souilleraient de leurs excréments. Le seul problème est le coût : l'énergie dépensée par les remorqueurs pour tirer l'iceberg ne doit pas être plus importante que celle qu'il faudrait dépenser pour dessaler l'eau de mer. Or le prix du dessalement est en train de baisser (par osmose inverse ou par évaporation-condensation). Il est aujourd'hui de l'ordre de 0,70 euro le m³, ce qui est beaucoup moins cher que le coût d'une eau douce obtenue par un éventuel remorquage d'icebergs. L'énergie nécessaire pour le dessalement est de l'ordre de 3 kWh par m³, celle pour tirer un iceberg plutôt de 10 à 100 kWh par m³ selon la distance et la vitesse. Ceci dit, on trouve aujourd'hui à New York des bouteilles d'eau de boisson produite par fusion de la glace polaire... qui coûtent 30 dollars la bouteille !

Comment pallier, au niveau mondial, l'inégalité de la répartition de l'eau ?

Question difficile. Le manque d'eau, inéluctable, tant en quantité qu'en qualité, vient pour l'essentiel de l'augmentation de la démographie. La majeure partie de l'eau dont on aura besoin servira à l'irrigation, pour produire la nourriture nécessaire à nourrir tout le monde. Or, est-ce une malchance ou un lien de cause à effet, l'augmentation démographique se produit pour l'essentiel dans des pays déjà pauvres en eau, et aussi pauvres en moyens financiers. Techniquement, si on y met le prix, on pourrait par exemple dessaler l'eau de mer, et la transporter par conduites là où on veut. On pourrait aussi éventuellement construire des barrages dans les pays bien arrosés, et transporter l'eau par conduites ou canaux vers les pays arides. Mais qui payerait ? Alternativement, on pourrait produire plus de nourriture là où il y a de l'eau, et l'exporter là où les populations ont faim. On appelle d'ailleurs ce type d'échange de l'« eau virtuelle ». Ce serait à la limite moins cher, car il faut transporter par exemple 1 000 tonnes d'eau pour produire une tonne de blé... Dans l'avenir, on développera probablement des cultures moins consommatrices en eau, les agronomes y travaillent déjà. On peut aussi utiliser des techniques d'irrigation plus économes, comme le goutte-à-goutte. Mais qui va payer ? Le problème de l'eau est un problème de démographie et d'économie, pas de technique.

Une autre menace pèse sur la qualité de l'eau. En 2025, on comptera probablement vingt-cinq villes de plus de dix millions d'habitants, alors qu'il n'y en avait que trois en 1950. La majorité sera dans des pays en voie de développement. Alimenter en eau de bonne qualité ces populations, et surtout construire le réseau d'égouts nécessaire à son assainissement, suppose d'y consacrer des sommes considérables. On a estimé qu'il faudrait investir en dix ans dans le monde une somme de 160 milliards de dollars US pour venir à bout des problèmes d'eau, soit 16 milliards par an. La moitié de cette somme seulement est dépensée. Mais qui va payer la différence ? En France, depuis le 9 février 2005, la loi Oudin-Santini autorise les collectivités locales et les Agences de l'eau à affecter jusqu'à 1 % de leur budget eau et assainissement à l'aide internationale pour l'eau. Si cette possibilité était utilisée à plein, elle pourrait monter à 100 millions d'euros par an.

Ces pronostics scientifiques sombres sont-ils pris en compte par les politiques ? Rien n'est moins sûr. Un bon exemple en a été le gigantesque Cinquième Forum mondial de l'Eau, qui s'est tenu à Istanbul, en mars 2009, avec plus de 20 000 participants, et qui s'est conclu par une Conférence ministérielle réunissant les représentants de plus de soixante pays. On s'attendait à des décisions, à des déclarations généreuses, les pays riches auraient pu annoncer qu'ils décidaient de consacrer une aide significative pour s'attaquer au problème de l'eau dans les pays défavorisés. Or qu'en a-t-il été ? La déclaration finale de la Conférence ministérielle a consisté à dire, outre quelques généralités... que l'on organiserait une autre forum mondiale de l'Eau en 2012...! Une motion sur le droit universel à l'eau a même été repoussée. La démographie apporte annuellement actuellement soixante-dix millions d'individus de plus à une planète Terre qui en compte déjà six milliards sept cent millions... Même si la croissance démographique semble se ralentir, les prévisions pour 2050 s'échelonnent entre huit et douze milliards d'habitants. Il est à craindre que les problèmes techniques et économiques de l'eau et de la nourriture soient les premiers facteurs de risque du xxi^e siècle.

Peut-on dépolluer les nappes phréatiques contaminées ?

On peut le faire, mais c'est très lent, très cher et très difficile. De plus, on n'arrive jamais à éliminer toute la pollution. On arrête la dépollution lorsqu'on juge que des seuils de contamination « acceptables » ont été atteints. Les techniques classiques de dépollution consistent à pomper l'eau de la partie polluée de la nappe, à la traiter pour en extraire les polluants, et à la réinjecter soit dans le milieu naturel (par exemple dans les rivières), soit dans la nappe. Pour les pollutions par les hydrocarbures, on extrait les vapeurs d'hydrocarbures du sol en aspirant l'air du sol dans des forages (venting). Pour les nitrates et

Addons

les pesticides, omniprésents, on ne peut rien faire, si ce n'est cesser d'en répandre (ou tout au moins en réduire les applications), et attendre que l'eau polluée s'écoule toute seule vers les exutoires, les rivières ou la mer. Comme les vitesses de l'eau dans les nappes sont très faibles (de l'ordre du mètre à la dizaine de mètres par an), cela peut prendre des décennies, et même des siècles. En pratique, on déplace souvent les captages qui fournissent des eaux polluées vers des zones plus propres, ou l'on traite les eaux pompées pour en extraire la pollution (pesticides, nitrates), bien que cela coûte cher.

Quelle alternative existe-t-il aux captages traditionnels d'eau douce en nappe et en rivière ?

Il n'y en a pas vraiment. On pourrait collecter l'eau de pluie dans des citernes, comme on le faisait autrefois, mais vu la pollution atmosphérique, il n'est pas certain que la qualité des eaux soit excellente. Quand les agriculteurs utilisent des pesticides dans les champs, par exemple, une partie importante se volatilise, et on retrouve dans l'eau de pluie, même à plusieurs dizaines de kilomètres, des concentrations en pesticides qui dépassent la concentration maximale admissible dans l'eau de boisson, qui est de 0,5 microgrammes par litre. De plus, l'eau en citerne se contamine facilement et doit être traitée par stérilisation.

Une autre alternative serait de ne plus boire l'eau du robinet, et de s'alimenter pour la boisson et la cuisson des aliments uniquement avec des eaux en bouteille ou en bonbonne. L'eau du réseau public servirait à la toilette et au lavage. Cela se fait déjà dans plusieurs pays, mais coûte évidemment assez cher.

Il existe enfin des nappes captives profondes qui sont bien protégées des contaminations superficielles, et donnent donc des eaux naturellement d'excellente qualité. Mais les débits disponibles dans ces nappes ne sont en général pas suffisants pour couvrir tous les besoins en eau. Ainsi, sous Paris, existe à 600 m de profondeur une nappe captive, dite de l'Albien, qui pourrait au plus satisfaire à quelques pour cent des besoins. Pour l'instant, on la conserve sous nos pieds, peu exploitée, pour y faire appel en cas de crise (par exemple une grave pollution de la surface, comme un accident de type Tchernobyl ou Seveso). On envisage aussi de la commercialiser en bonbonnes.

Peut-on réellement avoir confiance en l'eau embouteillée ?

Il faut d'abord bien définir ce qu'on appelle « eau embouteillée ». Il peut s'agir d'une eau dite minérale, qui est une eau souterraine naturelle déclarée bénéfique à la santé par l'Académie de médecine. Elle est donc (ou devrait être) considérée comme un médicament. Les eaux minérales ne sont en principe pas traitées, c'est pourquoi on les appelle naturelles. En réalité, il est permis d'en extraire les éléments dits instables, c'est-à-dire les gaz dissous, ainsi que le fer et le manganèse dissous, qui précipitent quand on aère les eaux. Depuis peu, il est permis d'en extraire aussi les éléments dits « indésirables » comme l'arsenic, le fluor, etc., s'ils sont en excès. On peut ensuite réintroduire du gaz dans l'eau, pour en faire de l'eau gazeuse : il s'agit le plus souvent du gaz carbonique déjà présent dans l'eau et que l'on récupère lors de l'aération (lorsque l'eau se dégaze), ou de gaz carbonique naturel collecté dans des forages voisins. On peut aussi introduire du CO2 industriel, mais il faut le déclarer. Les eaux minérales doivent posséder une composition chimique très constante, ce qui implique, aux yeux du législateur, qu'elles sont d'origine profonde et donc bien protégées des pollutions superficielles. Les eaux de source sont des eaux souterraines « ordinaires », non labellisées par l'Académie de médecine, qui doivent donc être naturellement potables. Elles ne peuvent pas non plus être traitées, sauf par l'élimination des éléments instables et indésirables, comme pour les eaux minérales. Elles ne doivent pas contenir de polluants au-delà des normes de potabilité des eaux des réseaux de distribution publics. Il existe enfin une troisième catégorie d'eaux embouteillées, à vrai dire très peu courante en France, mais prisée aux États-Unis et en Angleterre. Ce sont des eaux d'origine quelconque, qui ont été rendues potables par traitement. Aux États-Unis, plus le traitement est sévère, plus le client semble satisfait. On trouve ainsi sur les étagères des eaux qui ont été traitées par deux ou trois osmoses inverses successives, au point qu'elles contiennent tellement peu de sels que le fabricant en ajoute artificiellement, car des eaux distillées, par exemple, ne contenant rien, ne sont ni bonnes pour la santé ni bonnes au goût. On a donc un cocktail entièrement artificiel d'eau traitée et de sels ajoutés, qui semble plaire aux Anglo-Saxons…

Maintenant, faut-il avoir confiance dans ces eaux ? Oui, et non. Oui, parce qu'elles sont très contrôlées, et que les analyses dans les usines d'embouteillage sont très complètes et fréquentes. Oui, parce que s'il y avait un défaut, il serait repéré avant que l'eau n'arrive chez le consommateur. Entre la mise en bouteilles et l'arrivée chez le distributeur, il se passe en effet plusieurs jours, ce qui permettrait, en cas de problème, de retirer un lot de la vente. A contrario, une eau de réseau, même si elle est analysée très fréquemment, surtout dans les grandes villes, arrive chez le consommateur dans l'heure qui suit sa production. Si le problème éventuel n'a pas été détecté immédiatement, on ne peut plus rien faire. Oui, parce que les eaux souterraines mises en bouteilles sont, pour nombre d'entre elles, d'origine profonde et protégées. Oui enfin, parce que les eaux naturelles non traitées contiennent un cortège de bactéries naturelles non pathogènes, qui ont deux avantages : elles participent à la flore bactérienne naturelle qui fait l'environnement de l'homme (alors que les eaux stérilisées ne contiennent plus aucune bactérie, ni les pathogènes, ni les « bonnes »). De plus, on a montré que ces « bonnes » bactéries s'opposent à la prolifération des bactéries pathogènes : si une eau stérile vient à être contaminée par un germe, celui-ci va se développer ; tandis qu'une eau naturelle avec son cortège bactérien normal va empêcher les bactéries pathogènes de se développer.

Mais… non, car certaines eaux minérales sont en fait dangereuses, et contiennent trop d'éléments minéraux. Ce sont en fait des médicaments. Et non, enfin, car certaines eaux embouteillées sont quand même polluées par les activités humaines. On a retrouvé un peu de nitrates dans les eaux de Vittel (ce qui a entraîné dans cette société un gros effort de retour à une agriculture plus respectueuse de l'environnement sur le bassin d'alimentation des sources, que l'on appelle impluvium). On a retrouvé en 2000 (analyse de la revue Que Choisir ?) des traces de pesticides dans deux eaux minérales françaises de renom. On est bien en dessous des normes de potabilité, mais ceci constitue une preuve que, contrairement à ce que pensait le législateur, la constance des propriétés des eaux minérales ne constitue pas une garantie suffisante de protection contre les pollutions.

On est ici devant un réel problème. Pour protéger de façon définitive les eaux de source ou minérales, il faudrait pouvoir protéger contre les activités polluantes anthropiques l'impluvium des sources, c'est-à-dire la zone où la pluie qui alimente la nappe captée s'infiltre. Les embouteilleurs lancent des actions de protection des nappes en passant des accords avec les communes ou les agriculteurs, ou en achetant des terres qu'ils protègent.

Bibliographie

- L'eau, un trésor en partage, Ghislain de Marsily, Dunod, 2009.
- Eau, M. Camdessus et al., Robert Laffont, 2004.
- Les eaux continentales, Académie des sciences, EDP sciences, 2006 et www.academie-sciences.fr
- Le surprenant cycle de l'eau, Vazken Andréassian et Julien Lerat, Le Pommier, «Les minipommes », 2007.
- La Seine en son bassin, M. Meybeck, G. de Marsily et E. Fustec, Elsevier, 1998.
- L'avenir de l'eau, petit précis de mondialisation II, Erik Orsenna, Fayard, 2008.
- Allons-nous manquer d'eau ?, Vazken Andréassian et Jean Margat, Le Pommier, « Les Petites Pommes du savoir », 2006.
- Nourrir la planète, Michel Griffon, O. Jacob, 2006.

<div> <div>Voir Aussi</div> <div>Aucun résultat</div> </div>
<div> <div>Du même auteur</div> <div> <p>Les problèmes de l'eau en 26 questions 13/02/13</p> <p>29 notions-clefs : les déchets 12/08/09</p> <p>29 notions-clefs : le cycle de l'eau 07/08/09</p> </div> </div>
<div> <div>Commentaires</div> <div>Aucun commentaire</div> </div>

Source URL : https://www.fondation-lamap.org/fr/page/20336/pour-aller-plus-loin