L'eau ? Un produit naturel méconnu

Publié le 24.06.03 | Par Christine Cun

Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : les océans (l'hydrosphère), l'atmosphère et les sols (lithosphère). La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère chauffée s'évapore, conduisant à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, suite à un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se retrouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur la lithosphère...

1. Introduction

Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : les océans (l'hydrosphère), l'atmosphère et les sols (lithosphère). La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère chauffée s'évapore, conduisant à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, suite à un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se retrouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur la lithosphère à la surface de laquelle approximativement ¼ pénètre, ¼ ruisselle. La moitié restante s'évapore à son tour. Le fonctionnement de ce système conduit à définir différents types d'eau, d'usage et de composition différents.

L'eau atmosphérique devrait ressembler à de l'eau distillée mais elle contient des gaz dissous (diazote, dioxygène et CO_2), des dérivés de l'azote (provenant des réactions produites par des décharges électriques dans l'atmosphère, (principalement des oxydes d'azote NOx)) et des polluants divers gazeux, provenant de foyers de combustion industriels ou domestiques, minéraux, pouvant être naturels (poussières du sol), artificiels (fumées d'usines), radioactifs et organiques.

Les eaux superficielles sont constituées par les eaux des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaciers. Mais il ne faut pas oublier que c'est l'eau des précipitations (eau météorique) qui est à l'origine des eaux superficielles, et qu'elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et l'atmosphère de l'autre. La frontière entre eau souterraine, eau superficielle et eau atmosphérique est donc passablement floue, les eaux de sources venant encore compliquer le problème !

Les fleuves et les rivières, outre les eaux de pluie, sont alimentés par les nappes souterraines, surtout mises à contribution en été quand les pluies sont beaucoup plus faibles. On estime à environ 3 milliards de m^3/an la quantité d'eau souterraine qui participe, dans le bassin de la Seine, à l'alimentation des fleuves et des rivières. Les débits des fleuves et des rivières vont donc varier entre deux extrêmes : étiages et crues. En période de sécheresse annuelle, leur débit est minimum et quasiment exclusivement fourni par les eaux souterraines (période d'étiage). Dans le cas de la Seine et de la Marne, l'étiage débute en juillet et passe par un maximum en octobre pour ne terminer réellement que fin novembre. Les pluies recommençant et la fonte des neiges venant aggraver le processus, on arrive ensuite dans la période des crues, dont le maximum se situe généralement vers le mois de février. Le débit diminue ensuite jusqu'à l'étiage suivant. Le débit peut ainsi varier de façon considérable ; dans le cas de la Seine à Paris, il peut aller de 45 $m^3.s^{-1}$ en étiage sévère à 2 403 $m^3.s^{-1}$ en période de crue maximale, soit un facteur 50.

L'homme se trouvant donc parfois trop riche en eau, et parfois trop pauvre, les besoins ne peuvent être assurés et régulés que par la construction de barrages-réservoirs et par la réutilisation des eaux prélevées.

Les réserves d'eau superficielles peuvent être naturelles (lacs) ou artificielles (barrages-réservoirs). Le fonctionnement des étangs et des lacs fait partie du régime naturel des cours d'eau et leur effet de régulation est donc très limité. Ils peuvent cependant être utilisés pour la création de réserves artificielles. Le bassin Seine-Normandie ne compte pas de véritables lacs mais dispose denviron 500 plans d'eau de taille modeste. Il existe en revanche 9 barrages-réservoirs dont 6 situés dans des vallées étroites de régions accidentées où la hauteur de pluie est très forte et qui sont peu peuplées. Le total des réserves en barrage participant au soutien des étiages aboutit à une capacité utile de 598 millions de m^3 soit environ la moitié des prélèvements annuels. Ces barrages n'effectuent leurs lâchures qu'en moyenne 4 fois par an (juillet, août, septembre, octobre) ce qui permet d'assurer un débit global de 50 $m^3.s^{-1}$. Les barrages présentent en outre l'avantage de réguler les crues en hiver car ils se remplissent à ce moment là. Ils jouent aussi un rôle très important dans la production d'énergie électrique et trouvent leur utilité dans l'alimentation des voies navigables qui, sans eux, seraient inutilisables une bonne partie de l'année. Contrairement à leur réputation, leur rôle dans l'écrêtement des crues importantes reste très modeste et la région parisienne reste très vulnérable aux grandes inondations.

Lorsque l'eau superficielle pénètre dans le sol, une partie est retenue à la surface des grains de terre (capacité de rétention du sol) et l'autre partie percole en direction du sous-sol sous l'action de la pesanteur. Cette percolation dépend de la perméabilité du terrain et peut se dérouler lentement et régulièrement (perméabilité en petit) ou de façon plus irrégulière, dans des larges fissures ou des cavernes (perméabilité en grand), comme dans le cas de l'Aven Armand, du gouffre de Padirac ou des grottes des Causses. L'eau qui a ainsi pénétré dans le sol forme des nappes souterraines.

2. Traitement de l'eau

Ce sont les eaux de source et superficielles qui vont être captées (par drains, à l'exutoire naturel, par puits ou par prise d'eau dans le cas des eaux superficielles), à partir de leur gisement souterrain, d'un lac ou d'un cours d'eau, et amenées (on parle d'adduction d'eau) dans les usines de traitement pour être transformées en eau potable. Cependant toutes les eaux ne peuvent être utilisées. Elles doivent obéir à un certain nombre de critères physico-chimiques. Elles sont donc classées en trois catégories, définies par une directive européenne transcrite en droit Français, chacune correspondant à un procédé de traitement :

- catégorie A1 : traitement physique simple et désinfection
- catégorie A2 : traitement normal physique, chimique, et désinfection
- catégorie A3 : traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.

Les eaux présentant des caractéristiques dépassant les limites de la classe A3 ne peuvent être utilisées qu'exceptionnellement et dans des conditions précises pour la production d'eau potable. L'eau contient des substances ou des micro-organismes qui par leur nature et leur concentration peuvent être indispensables, acceptables, indésirables, voire toxiques ou dangereux. L'eau prélevée dans le milieu naturel n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine car des éléments liés à l'activité de l'homme peuvent être entraînés (nitrates, matières organiques, pesticides, micro-organismes...). La qualité des eaux de surface, souvent polluées, est donc très variable et ne peut être traitée qu'au cas par cas par des traitements appropriés à sa nature et à son degré de pollution. Les principaux types de traitement sont les suivants :

- **Filtration physico-chimique** (filtration rapide) : son principe consiste à créer au sein de la masse d'eau brute une floculation qui, en décantant, va éliminer les particules en suspension et nombre d'impuretés. Elle procède en trois étapes : coagulation (regroupement des particules)-floculation (formation de flocons de particules), décantation (dépôt des flocons sous l'effet de leur poids), et filtration rapide sur sable de la Loire, les particules encore présentes dans l'eau étant retenues sur le filtre.
- **Traitements d'affinage** : il se fait en deux parties, adsorption puis désinfection. L'adsorption se fait à l'aide de charbon actif de natures diverses (bois, tourbe, anthracite, noix de coco), matériaux extrêmement poreux qui retient les molécules de micropolluants et permet, entre autre, d'éliminer les mauvais goûts et les odeurs. La désinfection se fait par chloration ou ozonation et permet, en dernière étape, d'éliminer la plupart des microorganismes restants pouvant être dangereux pour la santé publique. A ce stade du traitement, l'eau est potable. Pour éviter toute prolifération bactérienne ultérieure, l'étape de chloration en sortie d'usine est dimensionnée pour qu'un léger résiduel de chlore soit maintenu dans l'eau[1] pendant son voyage dans le réseau de distribution avant l'arrivée au robinet du consommateur.

Un procédé nouveau de traitement de l'eau, actuellement en cours d'exploitation industrielle à Auvers-sur-Oise, est également très séduisant puisqu'il consiste simplement à filtrer l'eau à travers des filtres constitués de membranes organiques dont la porosité est si faible qu'elle retient non seulement les molécules mais aussi la plus grande partie des ions majeurs divalents : calcium, magnésium, sulfates... Les avantages de cette technique sont spectaculaires au niveau des taux d'élimination des polluants et de l'adoucissement de l'eau ce qui permet d'éviter l'entartrage des canalisations et des casseroles, facilite la cuisson des légumes et donne à l'eau un pouvoir moussant supérieur. L'inconvénient est que l'eau est très agressive (équilibre calco-carbonique[2] délicat), que l'adoucissement est parfois excessif, et qu'il y a toujours un risque de percement des membranes.

3. Caractéristiques de l'eau traitée

Lorsque l'eau est traitée et sort de l'usine, elle doit obéir à un certain nombre de critères de qualité définis par la réglementation et surveillés à la fois par les laboratoires des usines de production d'eau et par des laboratoires « contrôleurs ». Ces laboratoires surveillent également la qualité de l'eau au point de captage et en cours de distribution. Les paramètres faisant l'objet de limites de qualité sont classés en six grandes catégories.

3.1. Les paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution.

3.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau

Ce sont eux qui font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique[3], qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.

3.3. Les paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût (matières organiques, phénols, fer...), odeur (matières organiques, phénols...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité[4] au permanganate de potassium, la concentration en ammonium, témoin d'une pollution récente d'origine industrielle ou humaine, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer.

3.4. Les paramètres toxiques

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Ils sont essentiellement représentés par les métaux lourds (plomb, nickel, mercure, chrome, cadmium, arsenic...), et par le cyanure.

3.5. Les paramètres microbiologiques

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies, c'est-à-dire se développant en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination de l'eau par des matières fécales. La présence d'autres coliformes, de clostridium ou de staphylocoques laisse supposer une contamination de ce type. Dans les deux cas, des mesures doivent être prises pour interdire la consommation de l'eau ou en assurer le traitement.

3.5.1. Les paramètres concernant les pesticides et produits apparentés

Souvent due à l'utilisation de produits destinés à la lutte contre les parasites, les insectes ou comme herbicides, la présence de pesticides et des produits apparentés dans l'eau est limitée à des doses infimes, à titre préventif pour la santé. A forte dose, la toxicité sur l'homme (travailleurs exposés professionnellement) et les animaux est largement prouvée. Les pathologies les plus souvent décrites sont des cancers. En revanche, les effets liés à l'ingestion de faibles teneurs, aussi bien dans l'alimentation que dans l'eau distribuée, restent encore peu connus. On suspecte les pesticides de "perturber les régulations hormonales et d'accroître le risque de cancers du sein, de la prostate et du testicule" et de diminuer la fertilité masculine.
A partir des différentes informations, notamment médicales ou toxicologiques, une relation entre les valeurs d'un paramètre et les effets sur la santé peut être élaborée. Des limites de qualité sont définies en appliquant des coefficients de sécurité et de prévention afin qu'aucun effet néfaste ne puisse être observé sur la santé du consommateur. Lorsque ces limites de qualité sont dépassées, des mesures particulières de protection de la santé sont prises en fonction de la nature et du degré d'altération :

- renforcement de la surveillance de la qualité de l'eau,

- enquête,
- évaluation des risques,
- détermination des populations sensibles,
- restrictions ou interdictions de la consommation de l'eau.

La consommation d'eau par l'industrie est très importante puisque pour le seul bassin de la Seine ce sont 7 millions de m^3/j qui sont consommés à différentes fins : lavage et élimination des déchets, transport hydraulique, refroidissement, fabrication (pâte à papier)... L'eau ressort toujours polluée de son aventure industrielle et il convient de mettre en oeuvre un certain nombre de traitements avant de pouvoir la rejeter dans le milieu naturel sans provoquer de catastrophes. Mais l'eau a également un usage domestique important. Un habitant de la ville qui consomme 230 litres par jour n'en utilise que 1 % pour la boisson et 6 % pour la préparation de la nourriture. Le reste est consacré aux sanitaires et bains-douches (59 %), au lavage du linge et de la vaisselle (22 %) et à des usages divers : lavage de la voiture, arrosage, nettoyage...(12 %). Là encore, l'eau ressort passablement polluée et doit être traitée dans des stations d'épuration avant d'être rejetée dans le milieu naturel.

Ces traitements peuvent être physiques, chimiques ou biologiques. Les traitements physiques sont au nombre de 7 : la filtration (en surface ou en profondeur), la décantation (qui élimine par gravité les particules en suspension), la coagulation-floculation (selon le même principe que dans la chaîne de production d'eau potable), la flottation (inverse de la décantation, elle permet de recueillir en surface les matières les plus légères qui s'y retrouvent naturellement ou de façon provoquée par des bulles d'air), l'adsorption (notamment sur du charbon actif) et enfin l'électrodialyse et l'osmose inverse, deux techniques à base de membrane. Les traitements chimiques visent à transformer certains produits polluants en d'autres produits moins polluants, soit en d'autres produits tout aussi polluants mais dont l'élimination est plus facile. On en retient essentiellement 4 : la neutralisation (ajustement du pH), les précipitations (formation d'un produit insoluble facilement éliminé par décantation ou flottation), les oxydoréductions (formant des produits non toxiques ou facilement séparables sous forme de gaz ou de précipités), et enfin les échanges d'ions, sur des résines. Les traitements biologiques sont essentiellement utilisés pour le traitement des eaux usées d'origine organique, en particulier pour le traitement de la pollution urbaine. Ils sont basés sur la croissance de micro-organismes aux dépends des matières organiques « biodégradables » qui constituent pour eux des aliments.

4. Bibliographie

- J. Rodier. *L'analyse de l'eau*. Ed. Dunod, Paris. 7ème édition, 1984.
- *Journal of Chemical Education*, janvier 2003, vol 80, n°1, p41.
- Articles L.19 et L.20 du Code de la Santé publique
- Directive européenne no 80/778 du 15/07/80 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine
- Décret no 89-3 modifié du 03/01/89 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles
- *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (3 vol.), OMS, 1986.
- R. Vilagines. *Eau, environnement et santé publique*. Ed. Tec et Doc, Paris. 2000.

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

Christine Cun

Centre de recherche et de contrôle des eaux de Paris

RELECTURE SCIENTIFIQUE

Hélène Soyer

Professeure agrégée de chimie

MISE EN LIGNE

Edith Thummen

Professeure agrégée de chimie, conceptrice et responsable éditoriale du site CultureSciences-Chimie de 2002 à 2004 en collaboration avec D. Jaouen et J.B. Baudin, et avec le soutien des membres du département de chimie de l'ENS. Enseignante en CPGE depuis 2004.

NOTES

1. Voir le Journal of Chemical Education, janvier 2003, vol 80, n°1, p41

2. Certaines eaux naturelles sont susceptibles de développer des réactions conduisant à la dissolution ou à la précipitation du carbonate de calcium. Ces phénomènes d'agressivité ou d'entartrage dépendent essentiellement de la quantité d'anhydride carbonique libre, de l'alcalinité et du pH. Pour une concentration donnée d'hydrogénocarbonate de calcium et de magnesium, il existe une certaine quantité d'anhydride carbonique libre dont la présence est nécessaire pour éviter la décomposition des hydrogénocarbonates et donc la précipitation des carbonates correspondants.

3. La détermination du titre alcalimétrique permet de connaître la teneur en hydroxydes alcalins, la moitié de la teneur en carbonates et un tiers environ des phosphates présents dans l'eau. Il est complété par un titre alcalimétrique complet qui permet de connaître la teneur totale en hydroxydes, carbonates, hydrogénocarbonates alcalins et alcalino-terreux.

4. L'oxydabilité au permanganate de potassium est un test conventionnel qui a pour but d'approcher la teneur en matières organiques présentes dans l'eau en évaluant la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium en milieu alcalin. Toutefois, sa limite est que d'autres substances réductrices peuvent interférer dans la mesure.