

Eau de consommation, risque, santé

Les consommateurs d'eau ont conscience qu'il existe des risques sanitaires liés à cet élément. Mais leurs craintes apparaissent souvent dirigées vers des risques mineurs ou dangers anecdotiques tandis que d'autres, de plus grande importance, demanderaient plus d'attention et de prises de mesures. C'est pourquoi il semble primordial de donner une hiérarchie des différents types de pollution, afin de comprendre quelles exigences sont nécessaires en matière de traitement de l'eau et quels défis nous attendent.

L'eau est le fondement de la vie, à la fois aliment, éventuellement médicament, matière première industrielle, énergétique et agricole, et moyen de transport. Ses usages sont donc multiples, mais s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade, et surtout, la fourniture collective ou individuelle d'eau dite potable (eau destinée à la consommation humaine : EDCH), utilisable à des fins alimentaires (eau de boisson, cuisine – photo ①) mais aussi domestiques et d'hygiène corporelle.

Nous envisagerons successivement dans cet article les divers dangers et pathologies susceptibles d'être liées à l'EDCH, puis les moyens mis en œuvre pour garantir sa qualité, et enfin les défis liés, en particulier aux polluants dits émergents, qu'il faudra prendre en compte pour maintenir, voire améliorer cette qualité dans l'avenir.

Ainsi, durant la dernière décennie, un épisode de pollution de la rivière Ruhr en Allemagne illustre bien cette problématique et a entraîné, par ses répercussions politiques et médiatiques, une évolution de la perception du risque sanitaire. Au cours d'analyses de routine de l'eau d'une commune de cette région, le laboratoire de l'Institut d'hygiène de Bonn a mis en évidence des pics anormaux en chromatographie en phase gazeuse, identifiés ensuite comme des molécules perfluorées (PFOA et PFOS). Des analyses ciblées sur l'eau des communes voisines ont permis de montrer que le problème était généralisé autour de la Ruhr, et en remontant progressivement le long de celle-ci, les recherches analytiques ont permis de localiser la zone géographique à l'origine

du relargage de ces molécules. Il s'agissait de champs qui avaient reçu des boues de stations belges, probablement d'origine industrielle. Des études sur la population consommatrice d'eau ont montré une claire imprégnation sanguine liée à cette exposition par rapport à des populations témoins. Les conséquences sanitaires pour les enfants sont en cours d'évaluation ; l'eau ayant depuis été traitée pour éliminer ces molécules, l'imprégnation diminue lentement avec la fin de l'exposition. Ceci montre bien la nécessité d'une grande vigilance et d'une réévaluation régulière de la situation en fonction des progrès des connaissances.

Les enjeux sanitaires

Diverses formes de pollution affectent les ressources en eau.

La pollution « thermique », conséquence du déversement dans le milieu aquatique de quantités considérables d'eau utilisées pour le refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires, peut faciliter le développement d'amibes libres, pathogènes pour les baigneurs, surtout en période de faibles débits (étiage), en plus de modifier l'équilibre biologique des eaux au regard des espèces piscicoles. Ce risque sanitaire peut aussi exister lors du réchauffement des lacs et des étangs de baignade en période de canicule ou d'épisodes chauds prolongés, mais dans les faits, il est de nature microbiologique et sera envisagé plus loin.

La pollution radioactive est celle qui inquiète le plus la population, or elle est, et de très loin, la plus faible. Cette inquiétude est liée en particulier à une méconnaissance



1 L'eau dite « potable » est destinée à la consommation humaine. Elle est principalement utilisée à des fins alimentaires (eau de boisson, cuisine) mais aussi domestiques et d'hygiène corporelle.

des différents types de rayonnements et de leur dangerosité. Le rayonnement alpha est arrêté par une feuille de papier, mais peut poser problème si l'on ingère un radioélément émettant ce type de rayonnement. Les rayonnements bêta et surtout gamma sont beaucoup plus pénétrants et peuvent poser problème sur la santé en cas d'exposition sans ingestion ou inhalation. Les émetteurs de rayonnement alpha ($^{226}\text{Radon}$, $^{234}\text{Uranium}$, $^{238}\text{Uranium}$...) sont généralement d'origine naturelle et éventuellement présents dans les eaux souterraines de zones géographiques déterminées, par exemple, les zones granitiques (Bretagne, Massif Central et Vosges) pour le radon. Les émetteurs beta sont en général associés à des activités humaines (centrales de production d'énergie et utilisations médicales) ($^{90}\text{Strontium}$, $^{134}\text{Césium}$, $^{131}\text{Iode}$...) et la radio-contamination peut provenir de déversements hydriques volontaires ou accidentels, ou de retombées atmosphériques comme l'Iode 131 en cas d'accident nucléaire. La plupart des radioéléments s'absorbent facilement sur des particules (sédiments des eaux, boues de station d'épuration...). Des organismes aquatiques (poissons, mollusques, crustacés) sont capables d'accumuler certains radioéléments, créant une contamination de la chaîne alimentaire (par exemple, actuellement dans la baie de Fukujima). Quant aux émetteurs de rayonnement gamma, utilisés surtout en diagnostic par les services de

médecine nucléaire, leur usage strictement réglementé en interdit les rejets.

La pollution chimique est probablement la plus fréquente, très largement répandue et très diverse. Il s'agit d'abord de contaminations par des composés inorganiques, par exemple :

- *sodium*, impliqué à haute dose dans l'hypertension artérielle et *chlorures* provenant des rejets d'activité minière ou d'infiltration d'eau de mer ;
- *nitrites* (provenant des activités agricoles) non toxiques en eux-mêmes aux concentrations habituellement rencontrées, pouvant être réduits en nitrites, qui vont se lier à l'hémoglobine dans les globules rouges et provoquer des troubles plus ou moins lourds de conséquence en raison d'un défaut d'oxygénation des tissus. Par ailleurs, ils peuvent devenir éventuellement précurseurs de nitrosamines cancérigènes ;
- *phosphates* (issus des activités agricoles et des rejets urbains), participant au processus d'eutrophisation, phénomène aux conséquences environnementales (développements d'algues) et sanitaires (par libération de toxines algales) ;
- *métaux lourds* (plomb, mercure, cadmium) d'origine industrielle ou artisanale, accumulables dans les sédiments en certains points fluviaux ou littoraux,

► bio-accumulés par la flore et la faune aquatiques et à l'origine de véritables intoxications humaines historiques ou plus récentes avec le même mode d'intoxication via la chaîne trophique : par exemple, mercure transformé en méthylmercure accumulé dans les poissons à consommer, à Minamata au Japon ou en Guyane française ; cadmium et maladie Itai-Itai au Japon...

Le danger lié aux sels minéraux peut tenir à un déficit de l'eau en certains éléments d'intérêt nutritionnel (iode, fluor), mais la plupart du temps, il résulte d'un accroissement, momentané ou non, de teneurs dans l'eau. Des contaminations naturelles par le fluor peuvent entraîner une fluorose dentaire (anomalie de coloration) et osseuse (hyperdensification et fragilisation). Le dérèglement de pompes doseuses à fluorure utilisées pour prévenir les caries dentaires par injection de fluor dans l'eau de boisson a été souvent rapporté aux États-Unis à l'origine d'intoxication (sub)aigues par le fluor.

À long terme, le rôle néfaste de sels minéraux constituant la matrice chimique de l'eau tels que le sodium et le calcium, n'a pas été confirmé pour le risque cardiovasculaire. Par contre, certains micro-constituants sont réellement impliqués dans le risque hydrique, tels les métaux lourds déjà cités et l'arsenic.

Mais actuellement, ce sont les contaminants organiques d'origine anthropique potentiellement innombrables, détergents, produits phytosanitaires, solvants, hydrocarbures, résidus de médicaments, plastifiants... qui interpellent le plus quant à leur impact éventuel sur la santé. Liés aux activités humaines de tous ordres, ils créent des problèmes différents selon leur solubilité (certaines molécules sont très hydrosolubles et d'autres sont insolubles, mais peuvent l'être dans les graisses comme certains pesticides), leur rémanence (aptitude à persister dans le milieu du fait de leur non-dégradation chimique passive ou active par des organismes vivants et leur devenir dans les eaux, les sols et la chaîne alimentaire) et leur toxicité. On peut citer ici les PolyChloroBiphenyls (PCB) provenant des huiles utilisées dans les transformateurs ou de certaines activités industrielles, dont la présence dans les sédiments du Rhône et les poissons a eu beaucoup de retentissement. Toujours dans l'actualité, les résidus de produits médicamenteux, les substances à effet perturbateur endocrinien interpellent les autorités sanitaires et les traiteurs d'eau. Les Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques sont une autre classe avec des effets cancérogènes démontrés. Hormis des accidents (sub)aigus ponctuels ou des phénomènes cumulatifs, les molécules organiques interrogent de plus en plus du fait de leur présence ubiquitaire, polyvalente et insidieuse, se manifestant par des effets avérés sur les espèces animales et des effets sur la santé de l'Homme parfois réels, mais surtout potentiels à long terme (cancers, altérations endocriniennes, par exemple – Hartemann *et al.*, 2009).

Dans certains cas, tel celui des sous-produits de désinfection (haloformes formés lors de la chloration, par exemple), la conjonction des résultats sur l'animal et des données d'enquêtes épidémiologiques concordantes sur la légère augmentation de la fréquence de cancers

urinaires dans des populations très exposées, a conduit à fixer des valeurs maximales admissibles. Pour beaucoup d'autres molécules, les connaissances scientifiques ne permettent pas d'aboutir à ce type de conclusion. Si la molécule est dangereuse pour telle ou telle espèce animale (le plus souvent à dose élevée), le risque n'est pas avéré pour l'Homme, en général exposé à très faible dose via l'eau.

En revanche le **risque d'origine microbienne** est lui bien démontré, pourtant sous-estimé par la population « focalisée » sur le risque chimique.

La pollution microbienne et parasitaire des eaux est très importante. Son origine est avant tout d'origine fécale, due aux déjections humaines et animales, au travers des eaux usées plus ou moins bien maîtrisées. Cette pollution se retrouve donc au niveau des stations d'épuration dont les traitements primaires et secondaires n'affectent qu'en partie la charge microbienne des eaux usées et, surtout, transfèrent cette pollution dans les boues qui sont microbiologiquement très contaminées, sauf traitement approprié (photo ②).

Les microorganismes de pollution fécale des eaux sont des bactéries susceptibles de provoquer des troubles gastro-intestinaux (= entéropathogènes) (salmonelles, shigelles, *E. coli*, vibron cholérique...), des virus (entéro-virus de type poliovirus, coxackie et echovirus, virus de l'hépatite A, corona et rota-virus, virus de Norwalk et assimilés...) responsables, selon les cas, de gastro-entérites, hépatites ou syndromes neuro-méningés. Les virus sont en général plus persistants dans le milieu et plus résistants aux traitements de désinfection que les bactéries. Des parasites sont aussi en cause : ils sont fort nombreux, dans les pays tropicaux, à impliquer un stade hydrique important dans leur cycle de développement, tel *Entamoeba coli*. Dans les pays développés, on connaît aussi des parasites unicellulaires, tels *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum*, qui sont de redoutables agents pathogènes, provoquant des diarrhées graves, notamment pour des sujets immunodéprimés ; leurs kystes sont aussi particulièrement résistants dans le milieu et face aux désinfectants.

Mais en dehors de ces microorganismes dont le réservoir est humain ou animal, on peut retrouver dans les eaux des microorganismes « indigènes » qui en aucun cas ne peuvent être considérés comme des polluants puisque leur présence dans les milieux aquatiques (eau douce ou eau marine) est normale. Ils sont d'ailleurs de bons indicateurs du maintien de la qualité de ce milieu. Parmi eux, certains peuvent cependant avoir un effet néfaste sur la santé humaine, en général du fait d'une nouvelle utilisation de l'eau. Ainsi, la présence de bactéries de type *Legionella* est normale dans les eaux et n'entraîne aucune pathologie par ingestion ou par contact. L'homme a ensuite inventé l'aérosolisation de l'eau (tours aéro-réfrigérantes, jeux d'eau, douche, brumisation, bains bouillonnants, etc.) et il est à ce moment exposé à l'inhalation par voie respiratoire de cette bactérie, en particulier *Legionella pneumophila* 1, la plus virulente. Selon son terrain immunitaire et l'état de ses poumons, la bactérie pourra s'y développer et provoquer une pneumonie grave, parfois

mortelle. Dans ce contexte, *Legionella pneumophila* devient un micropolluant biologique, mais seulement dans les eaux chaudes, les tours aéroréfrigérantes et les eaux pour les loisirs. Ce sera aussi le cas de certaines bactéries dites pathogènes opportunistes, naturellement présentes dans les eaux, mais pouvant poser des problèmes pour des usages très spécifiques (par exemple, en milieu hospitalier) et provoquer des infections chez des patients immunodéprimés ou en raison d'une inoculation intempestive dans le corps (voir, par exemple, l'affaire de la Clinique du sport à Paris, avec l'introduction de *Mycobacterium xenopi* dans les articulations lors d'examen endoscopiques après rinçage de l'appareil à l'eau du robinet et non à l'eau stérile !). Enfin, des algues microscopiques peuvent être en cause (cyanobactéries et autres) et créer, par leurs toxines, des problèmes lors de baignades et pour les eaux potables. Dans ce cadre, le réchauffement des eaux envisagé en tête de ce chapitre a des effets très clairs sur la prolifération de certains pathogènes et une augmentation du risque infectieux.

De façon classique ce sont des bactéries d'origine humaine ou animale dites pathogènes vraies qui vont être responsables d'épidémies de grande ampleur dans les pays en développement (*E.coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi* ou *S. paratyphi*). Dans les pays développés, l'incidence des gastro-entérites est plus faible, en général liées à des virus. Ainsi, même dans les pays développés, la population n'est pas à l'abri d'épidémies liées à des dysfonctionnements du traitement de potabilisation ou à une irruption d'eau usée ou d'eau non traitée dans les réseaux d'eau de distribution publique.

La garantie de la qualité

Afin de garantir la qualité de l'EDCH, qui est l'aliment le plus contrôlé, le système repose sur un ensemble

2 Les techniques d'épuration des eaux usées produisent de grosses quantités de boues dans lesquelles sont accumulés les polluants chimiques et biologiques.



de mesures allant de la ressource au point de distribution dont, hélas, les médias et le consommateur ne retiennent que la conformité à la « norme ».

Pour assurer une protection de la population vis-à-vis des risques hydriques liés aux eaux d'alimentation, la gestion technique et sanitaire doit être la plus préventive possible et, à ce titre, s'appliquer dès le choix de la ressource, puis lors de la conception et de la réalisation des installations. En fonctionnement quotidien, elle doit être dynamique pour permettre des actions adaptées aux difficultés : celles-ci peuvent apparaître lors d'une dérive légère de la qualité qui reste encore comprise dans les « zones de sécurité » des règles fixées, ou lors d'un dysfonctionnement majeur dont les effets sont constatés sur la santé d'utilisateurs. Elle doit tenir compte de l'inertie des systèmes de production et de distribution d'eau qui peut se compter en jours pour les réseaux, ou en années ou dizaines d'années pour des ressources souterraines. C'est la mission confiée aux agences régionales de santé (ARS) qui sont chargées du respect de la mise en œuvre de procédures adaptées, du respect des obligations de moyens et de résultats par rapport à l'ensemble des paramètres constituant la norme de potabilité (encadré 1) à laquelle une eau doit être conforme (EDCH).

Face à ces micropolluants, chimiques ou microbiologiques, il convient d'organiser la prévention de leurs conséquences pour la santé des populations et la meilleure solution est la limitation de la pollution de notre environnement hydrique. La restauration de la qualité de nos réserves en eau fait partie des objectifs de tout gouvernement, mais les moyens à mettre en œuvre (en particulier épuration de toutes les eaux usées) sont très importants et coûteux. Si des progrès notables ont été enregistrés pour la réduction des pollutions d'origine industrielle et urbaine, il reste encore beaucoup à faire pour les pollutions diffuses, en particulier d'origine agricole.

Le point de captage (source ou prélèvement en rivière) doit être protégé par un triple périmètre de protection. S'il s'agit d'utiliser un cours d'eau, on appréciera le volume et le degré de pollution des eaux usées reçues, et des analyses complètes apporteront des indications sur la qualité bactériologique et chimique, en fonction de laquelle on jugera, en conformité avec les directives européennes transcrites en droit français, du traitement à leur appliquer. Ceci fait partie de l'obligation d'évaluation du risque que l'on doit maintenant réaliser en prenant en compte la qualité de la ressource (dans un *worst case scenario* qui maximise les dangers) afin que la filière de traitement soit apte à y faire face et à délivrer une eau de qualité conforme à la norme de potabilité (concept de *Water Safety Plan* de l'Organisation mondiale de la santé – OMS, 2011).

Une assurance qualité sera mise en place par le producteur respectant la règle des 5 M : matières, matériaux, méthodes, main d'œuvre et milieu **en matière de production**. En effet, il est nécessaire de prendre en compte la qualité de tout ce qui a une influence sur l'eau produite, de l'eau brute (milieu)

1 DÉFINITION DE L'EAU POTABLE

L'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) est distribuée par les réseaux de distribution publique après captage, traitement plus ou moins poussé selon la qualité de la ressource, stockage éventuel pour garantir la persistance d'une quantité et d'une pression suffisantes au robinet du consommateur. Elle doit répondre à un certain nombre de critères qualitatifs et quantitatifs physicochimiques et microbiologiques fixés par la réglementation qualifiée classiquement de « norme de potabilité ».

Ces critères proposés par l'Organisation mondiale de la santé puis imposés réglementairement par les États (en France, en application des directives européennes). Ils comportent :

- des paramètres physico-chimiques (exemples : couleur, odeur, saveur, turbidité, température, sels minéraux, métaux, molécules organiques...),
- des paramètres microbiologiques (*E. coli*, entérocoques, absence de pathogènes...),
- des paramètres radiologiques (activités α globale, β globale résiduelle, tritium...).

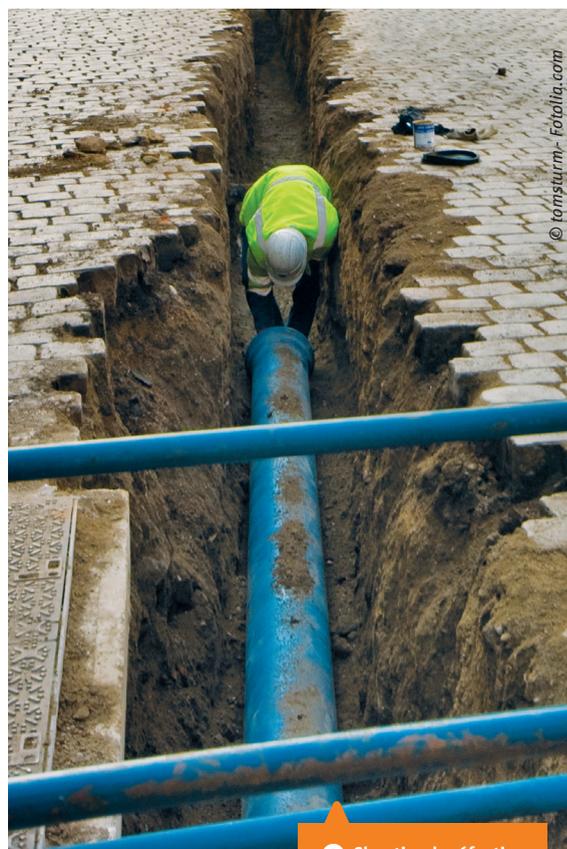
Ceux-ci peuvent être d'application stricte (= limites de qualité) ou plus souple (= références de qualité). Pour les limites de qualité (31 paramètres), les résultats analytiques doivent toujours être inférieurs ou égaux aux valeurs fixées dans la réglementation. Pour les références de qualité (26 paramètres), une certaine marge de dépassement est autorisable si le risque pour la santé du consommateur (qui doit être alors évalué au cas par cas) est considéré comme très minime pour les populations les plus fragiles. Les bases de la fixation de ces valeurs paramétriques sont décrites dans l'encadré 2 pour ce qui concerne la chimie.

Certaines eaux distribuées conditionnées doivent également répondre à ces mêmes critères de potabilité (eaux de source, eau dite de boisson). En revanche, les eaux minérales et leurs produits dérivés n'obéissent pas à la même réglementation et peuvent donc dépasser les valeurs paramétriques « eau potable » pour les sels minéraux. En revanche, elles ne doivent contenir aucune molécule issue de la pollution anthropique et sont de plus en plus traitées pour éliminer certains paramètres chimiques d'origine naturelle dangereux à forte dose (fluor, sulfates, fer, radon, etc.) dont la consommation en excès peut conduire à un niveau de risque plus élevé que celui acceptable pour la santé du consommateur (pour le fer, le niveau de concentration toxique est supérieur à celui provoquant goût et coloration désagréables). Ce sont ces principes qui sont utilisés en France pour demander une autorisation de traitement reposant sur le concept de prévention multi-barrières pour les risques sanitaire.

- ▶ au consommateur en passant par les réactifs ajoutés (matières) et les méthodes, les matériaux de transport et la formation du personnel. Tout procédé de traitement de l'EDCH doit avoir été préalablement agréé en France par le ministère chargé de la santé. Dans ce cadre, l'évolution actuelle va dans le sens d'une diminution de l'importance des étapes faisant appel à des procédés chimiques et divers réactifs, au profit d'une remise en œuvre de procédés physiques, parfois anciens, telle la filtration lente sur sable comportant des étapes biologiques d'épuration dont le rôle apparaît assez difficilement remplaçable. De même, la désinfection chimique perd une partie de son « aura » au profit de la filtration, car elle conduit à former un certain nombre de contaminants, les sous-produits de la désinfection, potentiellement toxiques, qu'ils soient dus au chlore, au bioxyde de chlore ou à l'ozone. Les membranes de filtration et leur mise en œuvre ont connu de grands progrès et l'ultrafiltration, voire plus récemment la nanofiltration (qui élimine non seulement les microorganismes mais aussi de nombreuses molécules organiques et minérales) sont de plus en plus souvent utilisées pour la production d'EDCH.

La distribution jusqu'au robinet de l'utilisateur est une autre étape critique car les canalisations constituent une partie vulnérable (photo 3), exposées aux souillures les plus diverses, avec des temps de transit parfois très longs (une semaine ou plus). Ces interactions eau-matériau sont inévitables tant sur le plan microbiologique (adhésion bactérienne, croissance et développement de biofilm qui servira de niche écologique à la survie, voire à la prolifération de certains germes) que chimique (agressivité d'une eau pouvant entraîner corrosion et dissolution). Le saturnisme peut être lié, par exemple, à la stagnation d'eau peu minéralisée et acide dans les canalisations en plomb, de même les *Legionella* pourront utiliser le biofilm comme support de prolifération et de résistance à la désinfection.

Si le réseau public de distribution est de plus en plus pris en compte, la partie privative à l'intérieur des immeubles est tout à fait importante. Le niveau d'information du propriétaire n'est pas toujours satisfaisant. Le saturnisme hydrique est maintenant toujours dû à des canalisations en plomb dans les logements anciens. Des traitements peuvent être ajoutés, hélas parfois sans grand discernement (adouccissant, antitartre, anticorrosion). Les eaux chaudes dites sanitaires doivent répondre aux critères de potabilité de l'EDCH. La maintenance de l'installation et la surveillance des systèmes et de la qualité sont des paramètres très importants pour garantir la sécurité sanitaire des usagers.



3 Chantier de réfection de canalisations.

Il y a enfin **le contrôle de qualité**, à l'introduction dans le réseau et au robinet du consommateur selon la conformité à la « norme ». Pour définir cette norme de potabilité, l'évaluation du risque d'origine chimique est effectuée lors de la préparation des directives ou recommandations de qualité d'eau potable. Cette démarche, décrite dans l'encadré ②, peut être aussi utilisée lors de dépassement de certains paramètres dans une eau afin de déterminer l'importance et le type de mesures à prendre pour protéger la santé de la population.

Mise en pratique

En résumé, la norme de potabilité pour l'EDCH comporte ainsi un certain nombre de paramètres et de concentrations maximales admissibles (CMA) associées. La CMA correspond à un risque nul pour les molécules de la

première catégorie et à un risque dit « acceptable » (10^{-6}) pour celles cancérigènes. La réactualisation de ces valeurs est périodique, allant dans le sens d'une plus grande protection de la population. Ainsi, la CMA du plomb dans l'eau est passée de 50 $\mu\text{g/l}$ à 25 $\mu\text{g/l}$, puis en 2013 à 10 $\mu\text{g/l}$ au fur et à mesure du durcissement de la réglementation lié au progrès des connaissances. En cas de dépassement de « la valeur paramétrique fixée », des évaluations de risque, fondées sur divers scénarios, peuvent permettre de prendre la décision de laisser consommer l'eau ou d'arrêter la consommation (référence ou limite de qualité).

Pour le risque microbiologique, la base de garantie de qualité est différente. Elle repose non sur la recherche des dangers, comme en chimie, mais sur celle de germes dits « indicateurs de contamination fécale » en eux-mêmes non dangereux et très peu résistants au chlore. Ce sont

② LA DÉFINITION DES CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES (CMA) POUR LES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA NORME DE POTABILITÉ

La première étape utilisée habituellement dans l'évaluation des risques consiste à déterminer si la substance étudiée a un caractère cancérigène ou non et si celui-ci est suffisamment documenté (cancérigène certain ou probable pour l'humain).

• Cas des substances considérées comme non cancérigènes, avec seuil (dites aussi déterministes)

Ces molécules ont ou n'ont pas d'effet bénéfique sur la santé lorsque consommées à faible dose. Quand on augmente la dose absorbée, on verra apparaître une toxicité (effet néfaste sur la santé) à partir d'une certaine valeur appelée seuil. Dans ce cas, la première étape de l'évaluation consiste à déterminer le niveau (ou la dose) pour laquelle il n'y a pas d'effets nocifs observés, communément appelé en anglais NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*). Cette dose sans effet observé (en français DSEO) est la dose la plus importante pour laquelle aucun effet nocif n'a été observé dans les études de toxicité habituellement réalisées chez l'animal en exposition chronique. Le NOAEL est défini habituellement sous forme de dose, c'est-à-dire sous forme de milligrammes/kilogramme de poids.

L'étape suivante consiste à déterminer la dose journalière acceptable (DJA), appelée aussi en anglais ADI (*Acceptable Daily Intake*). Cette dose est calculée habituellement en divisant le NOAEL par un certain nombre de facteurs, parfois appelés « facteurs de sécurité » ou encore « facteurs d'incertitude ». Il est habituel de considérer un facteur allant de 1 à 10 pour l'extrapolation inter-espèces, un facteur allant de 1 à 10 pour l'extrapolation intra-espèces pour tenir compte des individus les plus sensibles, facteurs qui se cumulent. Dans certains cas, on est amené à utiliser la dose journalière tolérable (DJT) appelée en anglais TDI (*Tolerable Daily Intake*). Quand on utilise un LOAEL (*Lower Observed Adverse Effect Level*) plutôt qu'un NOAEL, ou quand on utilise des études de toxicité sub-chronique à la place de toxicité chronique, on peut être amené à incorporer un facteur de sécurité supplémentaire, si bien que pour certaines substances, des facteurs de sécurité très importants sont utilisés lorsqu'il y a beaucoup d'incertitude ; par exemple, un facteur de 10 000 a été utilisé pour le trichloréthylène alors qu'un facteur de 1 à 2 est utilisé pour les nitrates.

Une fois la DJA déterminée, il faut calculer la concentration maximale acceptable (CMA) en tenant compte du poids moyen de l'individu et de sa consommation d'eau (au niveau international, deux litres par jour). Le dernier facteur consiste à déterminer quelle est la proportion de cette substance qui est absorbée via l'eau potable par rapport à son alimentation solide : habituellement, il s'agit d'un facteur allant de 20 à 80 %. La concentration maximale acceptable en milligrammes par litre d'eau est alors fixée et elle incorpore une très grande marge de sécurité. Ce chiffre (ex. : 1,5 mg/l pour le fluor) est improprement appelé « norme » ; il correspond à un niveau de risque nul et peut donc être dépassé temporairement sans que des conséquences néfastes pour la santé des consommateurs soient à craindre (notion de dépassement temporaire, acceptée par la réglementation européenne). Il incombe alors à l'État de fixer la durée et le niveau acceptables pour ce dépassement, en application des directives européennes.

• Cas des substances cancérigènes, sans seuil (dites aussi probabilistes ou stochastiques)

Pour ces molécules auxquelles les connaissances actuelles n'ont pas permis d'attribuer une action bénéfique pour la santé, des effets néfastes, de type augmentation de la fréquence des cancers, des mutations ou autres anomalies, apparaissent quelle que soit la dose absorbée (= sans seuil).

Dans le cas des substances cancérigènes, étant donné qu'il n'y a pas de niveau habituellement considéré sans effet, on doit viser à n'induire au sein de la population qu'un risque minimal. Cet excès de risque considéré comme « acceptable », suite à une ingestion prolongée pendant toute la vie, a été fixé par convention internationale à un niveau de 10^{-5} ou 10^{-6} , ce qui veut dire qu'après ingestion de la substance pendant 70 ans à une dose x , l'excès de risque de cancer sera de 1 sur 100 000 ou 1 sur 1 million de personnes exposées. Le risque actuel cumulé de cancer chez un individu est de 50 %. Ainsi, cet excès de risques (10^{-5} ou 10^{-6}) a été considéré comme acceptable, sinon négligeable par les personnes en charge de la gestion du risque sanitaire et de la législation.

Ceci reste bien évidemment discutable et certains militent, quel qu'en soient le coût ou les conséquences techniques, pour l'application du principe de précaution et la totale absence de la molécule considérée, tout excès de risque, même aussi faible, n'étant pour eux pas acceptable.

Il est clair que cette démarche peut apparaître comme très protectrice, mais ces valeurs de risque ont été fixées avec une importante marge de sécurité pour tenir compte des probables interactions entre molécules, dites « effet cocktail ». En effet, si l'on connaît assez bien les relations dose effet d'un certain nombre de molécules prises isolément, les effets additifs ou synergiques liés à la présence simultanée de molécules à faibles doses sont totalement ignorés. Ceci explique que l'on ne tolère que des concentrations très faibles pour chacune prise isolément.

► les fameux *Escherichia coli* (ex. : coliformes fécaux) et Entérocoques fécaux dont la présence laisse soupçonner celle de pathogènes vrais.

Actuellement près de 5 % des unités de distribution françaises desservant plus de cinq mille habitants sont concernées par une non-conformité plus ou moins fréquente de la qualité bactériologique de l'eau sur la base de ces indicateurs de contamination fécale. La part des gastro-entérites attribuables à l'eau parmi l'ensemble des gastro-entérites n'est pas connue, mais elle fait l'objet de programmes de recherches menés par l'Institut de veille sanitaire. Les données de ce système de surveillance témoignent de l'évolution du profil des épisodes infectieux dus à l'eau au cours des dernières décennies. L'agent étiologique responsable n'est identifié que dans moins de la moitié de ces épisodes, sans doute parce que les techniques performantes de recherche de virus et de parasites dans les selles et les eaux ne se sont développées que récemment. Les agents identifiés sont des parasites tels que *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium* et des virus, certainement très sous-estimés sans que l'on puisse être plus précis compte tenu de la difficulté de les isoler. Ces données suggèrent qu'une chloration utilisée comme seul procédé de désinfection, tel qu'il est encore parfois mis en œuvre actuellement, laisse subsister un risque infectieux dû à la présence de micro-organismes pathogènes résistants au chlore « désinfection cosmétique ».

En France, une étude prospective conduite dans une population de 29 272 personnes desservies par une eau non désinfectée a étudié les risques digestifs liés à cette non-conformité bactériologique de l'eau distribuée. Elle a mis en évidence un risque relatif de 3,5 de survenue de pathologie digestive pour une population exposée à une eau non conforme par rapport à une population exposée à une eau conforme. La suite de cette étude menée chez des élèves du cycle primaire a comparé l'absentéisme scolaire pour cause de gastro-entérite dans des villages alimentés en eau non désinfectée, car présentant naturellement une bonne qualité bactériologique, et dans des villages dont la qualité bactériologique de la ressource nécessitait une chloration de l'eau avant distribution. L'incidence brute des gastro-entérites était 1,4 fois plus élevée (intervalle de confiance 95 % : 1,30-1,50) parmi les enfants buvant de l'eau traitée. Ceci montre que le traitement n'élimine pas tous les micropolluants biologiques que l'analyse de l'eau (conforme à la norme bactériologique) ne permet pas de mettre en évidence (Soule *et al.*, 1999).

Ces études confirment qu'en l'absence d'un recueil actif des cas, seuls les épisodes les plus aigus de pathologie digestive sont observés, sans que la part qu'ils représentent de la totalité des cas de gastro-entérites liés à l'eau soit connue. Elles indiquent également que la chloration de l'eau avant distribution laisse subsister un risque résiduel de gastro-entérite. Ainsi, il y a eu des progrès énormes liés au traitement des eaux qui a fait disparaître la mortalité et la morbidité liée aux bactéries (ex. : typhoïde, choléra) dans les pays développés. Cependant, il reste des points à éclaircir quant à la pertinence des indicateurs de qualité microbiologique dans le cas

des EDCH traitées en pays développés, car la détection des pathogènes eux-mêmes n'est pas envisageable, trop longue et trop coûteuse.

D'ailleurs, en 1993, la plus grande épidémie de gastro-entérites jamais observée aux États-Unis (403 000 cas), survenue à Milwaukee, a montré que des unités de distribution de grande taille pouvaient être concernées, même lorsque les indicateurs de qualité bactériologique donnaient des résultats satisfaisants au cours du contrôle sanitaire. L'épidémie de cryptosporidiose survenue à Las Vegas en 1994 a montré que seule une recherche active de cas avait permis de mesurer la diffusion de cette épidémie et son impact (ampleur et gravité particulière avec un taux d'attaque de 9,7 % et de nombreux décès) dans une population immunodéprimée, infectée par le VIH, alors que les analyses de l'eau donnaient des résultats satisfaisants avec absence de bactéries indicatrices de contamination fécales et EDCH conforme à la norme de potabilité. Ce type de population avait à l'époque, faute de traitement médical efficace, une sensibilité très grande à tous les microorganismes. Les progrès de la chimiothérapie du sida ont permis, dans les pays développés, d'améliorer très significativement l'état immunitaire et la survie de ces patients.

Quels sont les défis actuels ?

L'eau est donc très contrôlée et la réglementation relative à sa production et sa distribution est extrêmement fournie et régulièrement remise à jour, en particulier par l'application de directives européennes successives. Les progrès en matière de qualité des masses d'eau sont nets, même s'il y a encore de gros progrès à faire pour lutter contre la pollution d'origine diffuse. Cependant, il faut encore accentuer nos efforts en matière de lutte contre la pollution des ressources en eau. Dans ce domaine, il convient de mieux faire respecter la réglementation existante (tout à fait suffisante) et d'encourager par tous les moyens possibles les pratiques vertueuses plus respectueuses de l'environnement. Taxation des produits polluants (ex. : engrais, pesticides) et des rejets, aides à la dépollution ou à la revalorisation des déchets (ex. : méthanisation des lisiers pour produire de l'énergie, compostage, etc.), création de labels commerciaux associés à des campagnes de sensibilisation des consommateurs, sont des voies à mettre en œuvre ou à encourager.

Les techniques d'épuration des eaux usées produisent de grosses quantités de boues dans lesquelles sont accumulés les polluants chimiques et biologiques. Les boues ont été initialement « valorisées » par déversement comme amendement agricole, pouvant ainsi contribuer à la pollution des sols et des eaux. Ceci n'est plus acceptable actuellement et il convient de les traiter pour en faire un produit valorisable sans risque ou de les éliminer sans impact sur l'environnement. C'est un énorme défi technologique, économique et pratique en grande partie devant nous. Ainsi, l'épisode de pollution par PFOA et PFOS, épisode de pollution de la rivière Ruhr en Allemagne, cité en introduction a bien illustré cette situation de relargage à partir de boues.

L'amélioration des techniques analytiques sur les eaux a permis de découvrir des dizaines de molécules organiques, issues des progrès de la chimie et des industries chimiques et pharmaceutiques. Ces polluants dits « émergents » sont susceptibles de poser de nombreuses questions quant à leurs effets. Parmi les découvertes récentes, on peut citer les effets perturbateurs endocriniens sur diverses espèces animales décrits pour plus de trois cents de ces molécules (pesticides, plastifiants, résidus médicamenteux etc.). La découverte initiale a été faite dans une zone polluée de la Tamise où on ne trouvait plus que des poissons femelles (les molécules présentes joueraient sur le déterminisme sexuel au cours de la croissance des alvins, les mâles devenant femelles sur le plan morphologique) – Gameson et Wheeler, 1977. Outre les classiques propriétés de toxicité, cancérogène et mutagénèse, il faut donc maintenant prendre en compte cette nouvelle dimension. La directive REACH, que l'Europe a eu l'immense courage politique de mettre en œuvre, va permettre de demander aux industriels de fournir des dossiers complets d'étude de toxicité des produits mis sur le marché ou à venir, et de réglementer leur usage en interdisant les plus néfastes pour l'environnement.

De nombreux rapports font actuellement référence à ces interrogations (rapport d'expertise INSERM¹, dossiers de l'IHEST², rapport de l'OPESCT³) et montrent d'une part l'importance des données bibliographiques et analytiques sur ces sujets ainsi que d'autre part la difficulté de réglementer dans un contexte de connaissances sanitaires insuffisantes.

Les résidus médicamenteux sont actuellement en première ligne. La découverte relativement récente de leur présence dans des EDCH non soumises à traitement, fait l'objet de nombreuses recherches, d'un écho médiatique

« accrocheur » (« du Prozac au robinet ») et de deux plans gouvernementaux successifs pour faire le point et proposer des mesures préventives. Sur le plan de la santé humaine, l'évaluation partielle du risque que l'on peut faire à cet instant est plutôt rassurante dans la mesure où, en fonction des concentrations parfois mesurées dans de l'EDCH, il faut ingurgiter de 1 à 1 000 m³ d'eau pour être exposé à une dose thérapeutique (elle-même non toxique). Cependant, ce genre de situation n'est guère acceptable car on ne peut exclure d'éventuels « effets cocktail ». Aussi, une meilleure élimination de ces résidus avant leur introduction dans les masses d'eau est indispensable (Lopez *et al.*, 2010).

De même, des substitutions sont possibles, comme le montre l'exemple de la prescription médicamenteuse en Suède. Dans ce pays, les molécules à usage pharmaceutique ont été classées en fonction de leur impact sur l'environnement avec un indice simple qui prend en compte leur toxicité, leur persistance et leur possible bioaccumulation par les flores et faunes hydriques. Dans ce pays, le médecin prend donc en compte ce troisième critère, en plus de l'efficacité thérapeutique et du coût, lors de sa prescription. En quelques années, les résultats sont là. Lorsqu'il y a substitution possible, la molécule la moins toxique pour l'environnement a supplanté les autres. L'industrie pharmaceutique travaille donc maintenant sur ce critère avant toute mise sur le marché.

À quand l'adoption de ce système en France et dans les autres pays européens, comme le propose la Suède ? ■

L'auteur

Professeur Philippe HARTEMANN

Département Environnement
et santé publique,
Faculté de Médecine de Nancy, Université de
Nancy, 9 avenue de la Forêt de Haye, BP 184,
54505 Vandœuvre-les-Nancy Cedex
✉ philippe.hartemann@medecine.uhp-nancy.fr

1. Institut national de la santé et de la recherche médicale.
2. Institut des hautes études pour la science et la technologie.
3. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- 📖 GAMESON, A., WHEELER, A., 1977, *Restoration and recovery of the Thames estuary*, in : GAMESON, CAIMS, DICKSON & HERRICKS eds, University Press of Virginia, USA 1977, 531 p.
- 📖 HARTEMANN, P., DAVAL, M.-C., HAUTEMANIERE, A., 2009, Risques sanitaires liés à l'eau et à l'alimentation. Toxi-infections alimentaires, *Revue Praticien*, n° 59, p. 685-687.
- 📖 IHEST, <http://www.ihest.fr/mediatheque/series/les-etudes-de-l-ihest/dossier-l-eau-en-questions/3-la-pollution-de-l-eau#0>
- 📖 INSERM, http://www.inserm.fr/content/download/34821/220855/file/Synth%C3%A8se_Reproduction_environnement.pdf
- 📖 LOPEZ, N., DEBLONDE, T., HARTEMANN, P., 2010, Les effluents liquides hospitaliers, *Hygiene's*, n° 18 (6), p. 405-410.

► Consultez l'ensemble des références
sur le site de la revue www.set-revue.fr