

# Hygiène publique, microbiologie et gestion de l'eau.

**J. Lesne**

Ecole nationale de la santé publique, Rennes, France.

Manuscrit n° PF13. Journée en hommage au Professeur A. DODIN. Accepté le 22 décembre 1998.

*Summary:* **Public health, Microbiology and Water Management.**

*Over the last hundred and fifty years, hygienists and health-related water microbiologists have laid down rules of public hygiene and sanitary systems to protect the health of populations. This program has proven to be particularly effective against "fecal peril". But in developed countries water borne infectious disease nevertheless still persists. This fact has led to much research on contamination due to waterborne micro-organisms. The emergence of the paradigm of risk assessment should allow microbiologists to focus their research effort on priority areas of prevention.*

*Résumé :*

*Au cours des cent cinquante dernières années, hygiénistes et microbiologistes de l'eau ont mis en place des règlements d'hygiène publique et des équipements sanitaires pour protéger la santé des populations. Cette politique s'est montrée particulièrement efficace pour lutter contre le "péril fécal". Dans les pays industrialisés, cependant, il subsiste un résidu de pathologie infectieuse hydrique. Cette constatation a justifié la multiplication des travaux de recherche sur la contamination des eaux par les microorganismes pathogènes. L'émergence du paradigme de l'évaluation du risque devrait permettre de concentrer les efforts de recherche en microbiologie des eaux sur les priorités de la prévention des maladies hydriques.*

*Key-words:* Hygiène - Fecal peril - Waterborne infectious disease - Prevention - Risk assessment - Health-related water microbiology

*Mots-clés :* Hygiène - Péril fécal - Prévention - Evaluation du risque - Pathologie infectieuse hydrique - Microbiologie de l'eau

**E**lément vital, chargé de symboles, de culture et de spiritualité, l'eau n'a jamais, par le passé, été traitée comme une marchandise banale. Pour M. Frédéric MAYOR, directeur général de l'UNESCO, "cette ressource rare, essentielle pour la vie, doit être considérée comme un trésor naturel faisant partie de l'héritage commun de l'humanité" (19) et par conséquent, pour certains, "un bien public qui doit demeurer sous contrôle public" (13, 19). Cette ressource indispensable à la vie, non substituable, et, qui plus est, existant en quantités fixes, pourrait devenir au prochain siècle l'enjeu de conflits géopolitiques et commerciaux de grande envergure (21).

Dans ce contexte, l'accès à une eau de boisson saine, qui est banalisé dans les pays économiquement développés, devrait devenir dans le monde entier un droit économique et social fondamental de toute personne, en même temps qu'un droit collectif de toute communauté humaine (10). Tel n'est malheureusement pas le cas actuellement puisqu'une personne sur cinq en est privée (22) avec un coût humain exorbitant : malnutrition, exode rural, charges domestiques accrues, ... et maladies infectieuses hydriques. Parallèlement, pour conforter le développement de ces maladies, la moitié de l'humanité ne dispose pas d'un réseau d'assainissement adéquat (22).

Ainsi, les infections hydriques représentent une des causes les plus importantes de maladie dans les pays en développement. On estime que la moitié de la population mondiale a l'expérience de maladies qui sont la conséquence directe d'une eau de boisson polluée (17). Ces maladies hydriques sont la principale cause de mortalité infantile de nombreux pays du tiers-monde. Ces réalités ont conduit les Nations Unies à dédier la décennie de 1981 à 1990 à la fourniture d'eau potable et à l'assainissement. Dans les pays industrialisés, la morbidité résultant de l'ingestion d'une eau microbiologiquement contaminée

n'a pas disparu (5). Bien que plus bénigne et plus rare, elle constitue aussi une préoccupation politique.

Pour protéger la santé des populations, envisagée statistiquement, hygiénistes et microbiologistes de l'eau développent depuis plus d'un siècle une méthode de gestion du risque infectieux hydrique dont l'efficacité a été prouvée dans le contexte d'un "péril fécal" principalement bactérien.

Lorsque cette politique de lutte anti-microbienne n'est pas mise en œuvre faute de financements suffisants, la population vit dans des conditions hygiéniques précaires qui contribuent grandement au maintien de l'état de sous-développement.

Cependant, dans les pays où les règles et équipements d'hygiène publique sont en place depuis des décennies, il existe un résidu de pathologie infectieuse hydrique qui nécessite de faire évoluer cette méthode de gestion du risque.

La rétrospective historique qui va être présentée, avec l'exemple de la France, peut permettre de comprendre la nécessité de cette évolution, et les besoins de recherche en microbiologie qu'elle va engendrer.

## Quand l'hygiène arrive au pouvoir

**L'**hygiène est un mouvement de pensée ancien qui a sa source dans l'antiquité. Au début du siècle des Lumières, DELAMARE (1705-1738) écrivait en France : "La pureté de l'eau, la bonté des autres aliments qui nous servent de nourriture, la salubrité de l'air qui nous environne sont les trois principaux soutiens de la santé. Ainsi pour conserver au public un si grand bien, et prévenir les maladies qui le pourraient troubler, il est du soin des officiers de police de remédier autant qu'il est possible, que l'eau et les autres vivres ne soient corrompus, que l'air ne soit infecté" (3).

A partir de la deuxième moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle, l'hygiène accède aux pouvoirs publics et le phénomène s'accroît au fil du temps. C'est en Autriche que Marie-Thérèse et Joseph II confèrent les premiers un statut légal aux institutions d'hygiène publique par la création d'une Commission impériale de la santé (1753) et la promulgation d'un acte de 40 règlements relatifs à la médecine, l'art vétérinaire, la pharmacie, la formation des chirurgiens et la statistique démographique et médicale (*Sanitäts-normativ*, 1770) (4).

La promotion de l'hygiène par le positivisme scientifique suivra au XIX<sup>ème</sup> siècle. En Angleterre, le mouvement hygiéniste se préoccupe d'abord des maladies contagieuses et se développe en priorité dans la direction du génie sanitaire, avec notamment CHADWICK, directeur des services de santé publique de Londres en 1848. Il s'agit d'assainir les villes, d'évacuer les eaux usées et de déterminer des lieux sûrs pour le prélèvement d'eau potable. En France aussi, l'hygiène publique se développe, en accompagnement de la médecine sociale qui professe qu'en portant secours aux pauvres, on préserve toute la population de la contamination des mauvaises pensées, des mauvaises mœurs et des maladies. Le Docteur ARMAINGAUD, président de la ligue contre la tuberculose, s'exclame : "L'hygiène est la science qui nous enseigne les moyens de conserver et d'améliorer notre santé, d'éviter les maladies et de vivre le plus longtemps possible. L'hygiène est donc, après la morale qui nous apprend nos devoirs et nos droits, la plus utile de toutes les sciences" (9). Jules FERRY fait ranger l'hygiène parmi les matières obligatoires qui doivent être enseignées à l'école. L'hygiène possède ses revues : *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*, lancées en 1829 ; *Annales des Ponts et Chaussées* en 1831. Des chaires d'hygiènes sont créées dans les facultés de médecine. Mais les études d'hygiène occupent une position marginale, parce qu'elles n'ont pas encore de débouchés professionnels, parce qu'elles ne sont utiles ni pour l'exercice de la médecine libérale, ni pour celui d'une médecine sociale, et parce qu'elles paraissent à la fois éloignées de la médecine scientifique (clinique, pathologie, physiologie) et trop liées à la philosophie et à la politique (9).

La loi française sur l'hygiène publique de 1902 émane des élites laïques, radicales, voire maçonniques. L'Etat prend peu à peu en charge la santé publique (18). Dans les villes, l'hygiène publique devient un souci du pouvoir politique, mais l'espace rural reste négligé. Le comité consultatif d'hygiène publique de Paris devient le Conseil supérieur d'hygiène publique de France qui a le pouvoir d'observer, de conseiller - rôle d'expertise - et de décider - rôle "normalisateur". Les institutions mixtes, mi-scientifiques, mi-administratives comme les conseils de santé départementaux, envoient des observations aux instances supérieures et font appliquer les règlements d'hygiène publique. Les institutions politiques (Assemblée nationale, Sénat) légifèrent. Jusqu'en 1920, le bureau de l'hygiène publique est placé sous tutelle du ministère de l'intérieur.

## La conquête de l'eau

Avant le XIX<sup>ème</sup> siècle, l'eau était en Europe, comme elle l'est toujours dans le monde pour 1,4 milliard de personnes, un objet de quête quotidienne. Avec le siècle industriel, son économie aquavore et le développement de l'urbanisation, l'eau devient progressivement un produit industriel et commercial, mais avec un statut d'utilité publique : le prix de l'eau n'est pas fixé par le marché, mais par la collectivité à un niveau assurant l'équilibre financier du service de

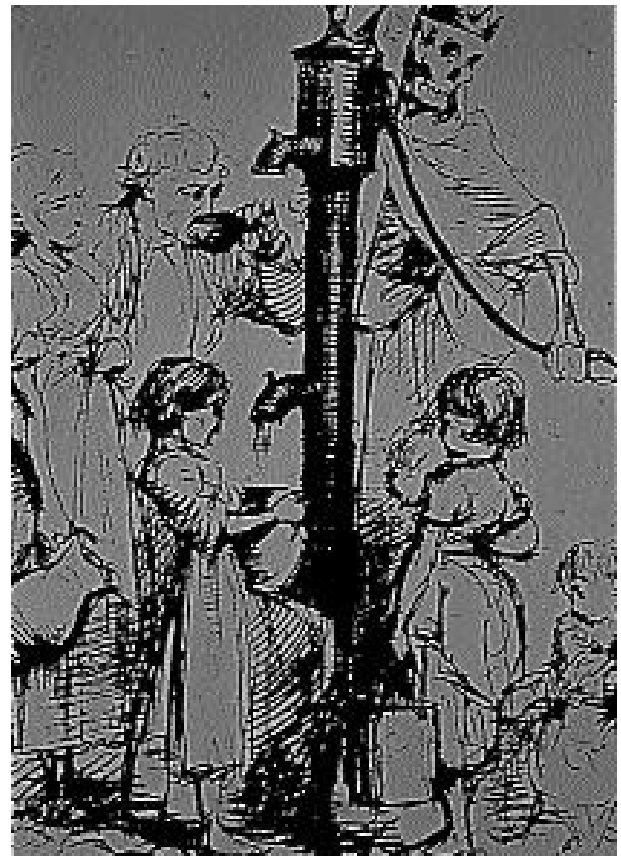
production et de distribution. A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, on voudrait 100 à 120 litres d'eau par jour et par habitant. Abondante et pure, l'eau finit par imposer de nouveaux rites de propreté : elle fait la conquête de l'homme (4). Pourtant le corps médical de cette époque reste peu préoccupé par l'eau : avant 1890, moins de 1 % des thèses de doctorat de la faculté de médecine de Paris se rapporte à ce sujet, alors que 80 % ont pour objet les traitements curatifs. C'est seulement en tant qu'élu local ou notable départemental que le médecin s'intéresse à l'eau, en participant aux grands travaux d'adduction et d'assainissement. Chez les ingénieurs, les hommes de loi et les administrateurs, par contre, la conquête de l'eau suscite une avalanche de communications, de débats et de discussions. Les hygiénistes rassemblés en congrès veillent à la pureté de l'eau, contribuent à la codifier, insistent pour rendre l'eau obligatoire dans les logements. Dans les logements, on promeut le modèle anglais de la chasse d'eau pour l'évacuation des matières de vidange, et pour l'assainissement des villes on investit dans le tout-à-l'égout (9).

Figure 1.

"Death's dispensary" ..

"Distributeur de mort".

Illustration de Georges Pinwell, Londres, 1866. Cliché F. Mansotte.



## Le tournant pastorien : l'hygiène scientifique

L'influence pastoriennne après 1890 permet que s'instaure un discours scientifique sur la pollution microbienne de l'eau, à propos du choléra et surtout de la typhoïde. Ainsi, parmi les thèses de doctorat en médecine post-pastoriennes relatives à la typhoïde, on peut relever le rôle des légumes souillés par l'épandage des matières de vidange ou le rôle des coquillages pollués par les eaux d'égout.

Les premières analyses bactériologiques d'eau, qui datent de 1885, apporteront un complément décisif à l'observation épidémiologique pour établir que la typhoïde se transmet surtout

par l'eau de boisson et par l'eau de distribution publique, plus que par contact direct et indirect entre malades (mains sales, aliments, linges). Ainsi, à Paris à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, il apparaît que le nombre de cas de fièvre typhoïde suit les variations de qualité de l'eau du réseau de distribution d'eau potable. Les poussées épidémiques correspondent à l'arrivée dans le circuit d'une eau polluée provenant de la Seine.

La propreté de l'eau ne suffit plus. Il faut garantir sa pureté microbiologique. Cela marque une rupture avec le passé et aboutit à un changement dans la prise en charge de l'eau par la technique et par l'économie.

### Comment purifier l'eau à distribuer ?

En même temps que l'on constate la relation entre les épidémies de choléra et de typhoïde et la consommation d'eaux polluées par les égouts, on observe que le risque sanitaire semble diminuer lorsque ces eaux sont filtrées. Une preuve éclatante de l'efficacité de la filtration a été apportée en 1892, lorsque l'Elbe, en amont de Hambourg, fut contaminée par un camp d'immigrants atteints de choléra. Alors qu'il y eut 7500 victimes à Hambourg, où l'eau puisée dans le fleuve était soumise à simple décantation, il n'y eut aucun cas de choléra à Altona, où la ressource en eau était la même, mais filtrée.

### Comment contrôler la pureté microbiologique de cette eau ?

A la fin du siècle, l'analyse d'une eau destinée à l'alimentation comporte déjà :

- le dénombrement global des bactéries,
- la recherche des bacilles de la typhoïde, du choléra et d'anaérobies (vibrions septiques et bacilles tétaniques) (Manuel d'analyse d'eau du Dr ROUX, bureau d'hygiène de Lyon, 1892).

La circulaire ministérielle française du 10 décembre 1900 précise que, pour apprécier la salubrité de l'eau, l'analyse chimique ne suffit pas et qu'il faut y joindre l'analyse microbiologique (30).

## Le développement des équipements d'hygiène publique

D'abord en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, puis en Europe continentale, les procédés de traitement de l'eau de boisson et d'épuration des eaux résiduaires vont être perfectionnés et s'implanter progressivement pendant la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. En France, les équipements d'hygiène publique sur le territoire ne se généralisent qu'après la deuxième guerre mondiale.

Actuellement, le sous-système français de prévention d'hygiène publique, dont les composantes fondamentales demeurent le service d'eau potable et l'assainissement, a un poids économique 3 fois supérieur au sous-système de prévention médicale, mais 13 fois plus faible que des dépenses totales de consommation médicale (J.P. BÉCHAC, communication personnelle).

Deux groupes de traitements de potabilisation de l'eau sont développés.

Le groupe des traitements par filtration, complétés éventuellement par la coagulation, a pour objectif l'amélioration de la qualité visuelle et gustative de l'eau, mais aussi de sa qualité microbiologique.

Il vise à retenir les germes et, ce faisant, à les soustraire de l'eau distribuée.

Le groupe des traitements dits de désinfection a pour objectif de tuer les germes présents dans l'eau distribuée (sans obligatoirement éliminer de cette eau les germes supposés morts). Les instructions ministérielles françaises du 12 août 1929 concernant les traitements des eaux potables citent, dans le cadre de la qualité microbiologique :

- les procédés mécaniques et physiques : la filtration, la chaleur, les ultra-violetts ;
- les procédés chimiques : le chlore et ses composés (chlore gazeux, hypochlorites), l'ozone, l'iode, les permanganates ; c'est-à-dire l'essentiel de la panoplie des procédés utilisés de nos jours (30).

## L'évolution induite de la pathologie hydrique

En Europe, le choléra disparaît au début du siècle et la typhoïde en son milieu. Salmonelloses et shigelloses deviennent beaucoup plus rares et l'amplitude des épidémies est généralement plus faible. L'essor de l'épidémiologie à partir des années 30, en Angleterre, consolide scientifiquement la pertinence des investissements en génie sanitaire et permet à l'hygiène publique de conserver un statut de choix dans le dispositif de prévention.

En effet, ce sont bien les traitements de l'eau, mais aussi les choix plus judicieux des captages et leur protection, ainsi que les progrès de l'hygiène personnelle, qui atténuent progressivement, en 60 ans, l'importance de la pathologie hydrique d'origine bactérienne. Prenons cent morts de la typhoïde en 1860. Grâce aux mesures d'hygiène publique, on n'en compte plus que cinq à dix en 1920. Ensuite, on peut estimer que les progrès de la médecine curative agissent seulement sur les dix cas restants pour les réduire à deux en 40 ans.

Dans cette dernière période, les progrès du système de santé sont importants. Citons la politique vaccinale, la création des grands établissements d'accueil pour les tuberculeux dans les années 1920-1930, le développement du dispositif de soins curatifs, puis, à partir de 1940, la généralisation des sulfamides et antibiotiques. Mais ils s'accompagneront progressivement d'une moindre vigilance de l'effort d'hygiène en matière d'environnement (31).

## La mise en place d'une veille microbiologique réglementaire

La potabilité de l'eau a pour premier critère l'absence de danger microbien.

Les microbiologistes en ont fait au départ la traduction suivante : absence de tout germe pathogène. Ils savent bien sûr que l'absence de danger n'est pas toujours synonyme de l'absence de tout germe pathogène, mais ils manquent de connaissances sur les doses infectantes. L'exigence d'absence de pathogène ne peut apporter qu'un surcroît de sécurité.

Malgré son apparente simplicité, ce critère microbiologique de salubrité de l'eau manque pourtant d'opérationnalité. Il est d'abord irréaliste de vouloir vérifier l'absence de tous les micro-organismes pathogènes ayant des effets de santé significatifs dans la population. Ensuite, pour un pathogène choisi, la recherche directe dans l'eau brute pose un problème majeur : sa présence dans l'eau est irrégulière. Elle dépend de l'état sanitaire de la population productrice des matières fécales

polluantes. Il faudrait pratiquer sa recherche avec une très grande fréquence, voire en permanence. Enfin, les techniques d'analyse sont difficiles et les délais d'obtention des résultats sont longs. Au moment où un pathogène est détecté dans l'eau, les consommateurs ont généralement été déjà contaminés et il est tard pour agir. Par ailleurs, il existe des bactéries opportunistes, autochtones des eaux (*Pseudomonas spp.*, *Aeromonas spp.*) pour lesquelles l'exigence d'absence ne peut se justifier que pour des usages particuliers.

Comme l'exigence de danger minimum dans l'eau à boire demeure, les hygiénistes, pragmatiques, ont remplacé le critère "absence de tout germe pathogène", signal négatif irréaliste, par le critère "possibilité de présence de germe pathogène", signal positif très commode.

Les agents pathogènes transmissibles par l'eau - connus à cette époque - étant tous des bactéries d'origine fécale, les hygiénistes ont proposé d'utiliser des bactéries fécales banales, traceurs d'une contamination fécale de l'eau, comme indicateurs d'une présence possible de pathogènes dans cette eau.

Au laboratoire de contrôle de la qualité des eaux, c'est la naissance des coliformes - groupe bactérien englobant *Escherichia coli* - utilisés comme indicateurs de contamination fécale de la ressource et de l'eau distribuée. Très vite, on y adjoint les streptocoques fécaux, plus résistants, et les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices, encore plus résistantes, pour compléter l'information sur la contamination fécale et l'efficacité du traitement.

On peut suivre la mise en forme de ces concepts au travers de l'évolution des textes officiels organisant et normalisant le

contrôle de salubrité des eaux de boisson. En France, au cours des deux premiers tiers du XX<sup>ème</sup> siècle, elle fut jalonnée par plusieurs instructions et circulaires en 1924, 1929, 1954, qui conduisent au premier texte réglementaire définissant avec précision les exigences de qualité, notamment microbiologique, pour les eaux destinées à l'alimentation : l'arrêté du 10 août 1961 et la circulaire de 1962 (30).

La recherche et le dénombrement des bactéries témoins de contamination fécale deviennent l'analyse microbiologique prédominante. L'exigence d'absence d'indicateurs fécaux constitue en effet une exigence pratique, facilement vérifiable analytiquement, qui permet dès qu'elle n'est plus respectée de prendre des mesures adaptées à la protection des consommateurs. Très logiquement, la recherche des germes pathogènes ne figure dans aucune analyse-type systématiquement imposée pour évaluer la qualité de l'eau, lors du choix du captage ou de la surveillance d'une eau traitée. Cette recherche n'est mise en œuvre qu'en cas d'épidémie pour faire la preuve de l'origine hydrique de celle-ci.

Sous la contrainte opérationnelle cependant, la réglementation de 1961 (30) laissera malheureusement très clairement entendre - sans l'affirmer - que l'absence de bactéries témoins de contamination fécale témoigne en toutes circonstances d'une absence de danger microbien. Conjointement, l'efficacité des traitements se mesure par facilité au travers de l'abattement des seules bactéries témoins de contamination fécale.

On sait aujourd'hui que cette interprétation peut générer une fausse indication de sûreté, en raison de comportements dans l'eau distincts pour les germes indicateurs et les micro-organismes pathogènes, notamment pour ceux qui ont été récemment mis en évidence dans la pathologie de transmission hydrique (virus entériques et protozoaires parasites).

Pourtant, la dernière directive européenne 80/778/CEE et sa traduction en droit français par le décret de base 89.3 du 3 janvier 1989, assorti des deux décrets modificatifs 90-330 du 10 avril 1990 et 91-267 du 7 mars 1991, ne font dépendre l'appétitude de l'eau à sa consommation que du respect des exigences concernant les seuls critères réglementaires, qui sont simplement "absence d'indicateurs" - insuffisante pour garantir l'absence de pathogènes, et "absence de pathogènes (sic)", sans aucune précision.

## Pertinence et limites du dispositif actuel de prévention

Les principes de gestion du risque microbien, tels qu'ils viennent d'être exposés, ont fait la preuve de leur grande efficacité. Ils sont repris et développés dans les recommandations actuelles de l'OMS (24). Ils se rattachent à la démarche de type ALARA (As Low As Reasonably Achievable), qui est contenue dans la formule "remédier autant qu'il est possible".

L'encadrement réglementaire de la production d'eau alimentaire est centré sur une obligation uniforme de résultats : la qualité microbiologique du produit consommable doit être constamment conforme aux critères de référence (paramètres et valeurs limites) fixés par les textes officiels. Pour l'eau traitée, ce contrôle du produit fini sert aussi de contrôle de l'efficacité de la filière de traitement.

Mais cette obligation de résultat est indissociable de deux autres obligations. D'une part, la mise en œuvre d'une politique de protection de la ressource en eau (eaux souterraines ou eaux superficielles), pour limiter la nécessité des traite-

Figure 2.

L'eau pure sous pression.  
Affiche du Comité "hygiène et eau", 28 place Saint-Georges, Paris. Cliché F. Mansotte.  
Pure pressurized water.



ments. D'autre part, le bon fonctionnement constant des installations de traitement et de distribution de l'eau. Ces obligations de moyens sont essentielles.

Partout dans le monde, lorsque ces conditions ne sont plus respectées, des épidémies de pathologies hydriques infectieuses apparaissent. Il suffit souvent d'une simple dégradation de l'économie pour conduire à la précarisation de l'assainissement et de la sécurité de l'approvisionnement en eau potable. C'est ce que prouve la dernière épidémie de choléra en Amérique du Sud qui a débuté au Pérou en 1991 (1). L'organisation panaméricaine de la santé pense que la bactérie est arrivée avec un cargo chinois qui aurait rejeté ses eaux de cale contaminées dans le port de Lima. La bactérie aurait alors rapidement contaminé coquillages et poissons. Les premiers cas humains auraient été dus à la consommation de ce bœuf (marinade de poisson cru). Mais, une fois la maladie apparue dans la population, la bactérie a rapidement atteint l'eau de distribution publique infectant beaucoup plus d'individus qu'elle n'en aurait touchés par contacts inter-humains. Bien que le Pérou ait une bonne technologie de traitement de l'eau et utilise une ressource de qualité pour son système de distribution publique, de vieilles canalisations et des connexions avec des forages ouverts non chlorés ont permis à la bactérie de pénétrer dans le réseau après traitement. Le chlore rémanent aurait pu protéger l'eau de distribution publique, mais les concentrations utilisées étaient insuffisantes. Pour le justifier, les autorités sanitaires se sont appuyées sur l'étude EPA des années 1970 montrant qu'un niveau de chlore de 100 ppm entraîne un risque de cancer d'environ 1 pour 10 000 (700 cas par an aux USA). Un risque de cancer relativement faible peut-il raisonnablement contrebalancer la possibilité d'une épidémie microbienne (28) ?

Quant aux pays du monde où le dispositif actuel de prévention est censé être le mieux mis en œuvre, ils ne sont pas non plus à l'abri de défaillances : les enjeux financiers de la production et de la distribution d'eau potable sont en effet tellement considérables que les préoccupations de santé publique peuvent être négligées. La contamination microbienne demeure le danger le plus commun qui menace la qualité de l'eau de boisson ; la persistance d'un certain nombre de cas endémiques et d'épidémies de pathologies infectieuses d'origine hydrique pose problème. Bien que bénignes le plus souvent dans la population générale (la mortalité est estimée à 1 pour 1000 en moyenne), elles ont un impact économique non négligeable en coûts médicaux directs et perte de journées de travail (deuxième cause d'absentéisme professionnel aux Etats-Unis) (7).

Ainsi, aux Etats-Unis, entre 1993 et 1994, 30 épidémies liées à l'eau de boisson ont été rapportées. L'agent étiologique a été déterminé pour 25 d'entre elles, 17 avaient une origine microbienne, 10 étaient liées à *Cryptosporidium* ou à *Giardia* (14). Dans la même période, 43 millions d'Américains ont été exposés au *Cryptosporidium* (12). La surveillance épidémiologique conduite aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne nous apprend que les micro-organismes qui émergent comme une menace d'infection d'origine hydrique sont, outre ces protozoaires parasites animaux, de nombreux virus humains. Il en existe plus de cent types présents dans les eaux usées domestiques parmi lesquels les entérovirus, le virus de l'hépatite A, les rotavirus et les virus Norwalk-like .

Malheureusement, les obligations de résultat en terme de qualité microbiologique ne permettent pas toujours de détecter le non-respect des obligations de moyens.

Diverses études ont montré que des épisodes épidémiques en Amérique du Nord ou en Grande-Bretagne étaient liés à une eau de robinet conforme aux critères bactériologiques, mais issue d'une eau contaminée et traitée de façon conventionnelle (7).

Ainsi, l'analyse des épidémies liées à l'eau de boisson aux Etats-Unis, a montré que les coliformes n'étaient détectés que dans 55,6 % des épidémies causées par des protozoaires, contre 91,6 % des épidémies d'origine bactérienne. Entre 1984 et 1992, toutes les épidémies de cryptosporidiose se sont produites avec des eaux traitées de qualité bactériologique conforme à la réglementation (14). L'épidémie de cryptosporidiose la plus importante à ce jour s'est produite entre mars et avril 1993 à Milwaukee, ville de 1,5 million d'habitants desservie par deux grandes installations de traitement conventionnelles alimentées par l'eau du lac Michigan. Juste avant l'épidémie, de violents orages avaient causé une importante détérioration de la qualité de l'eau brute. Une diminution de l'efficacité du procédé de coagulation-filtration a conduit à une augmentation de la turbidité de l'eau traitée et à une mauvaise élimination des oocystes de *Cryptosporidium*. L'eau distribuée étant restée conforme aux exigences réglementaires, près de 840 000 consommateurs ont été exposés à ce parasite intestinal, 403 000 personnes ont fait une diarrhée, avec 4 400 personnes hospitalisées, et au moins 69 décès prématurés comptabilisés parmi les patients immunodéprimés (6). D'autres études épidémiologiques montrent que des cas de gastro-entérite apparaissent sur le mode endémique dans une population alimentée par une eau répondant aux critères de qualité bactériologique. A Montréal, plus de 30 % des cas ont été attribués à la consommation d'eau du robinet (25). En France rurale, le suivi des gastro-entérites parmi des enfants scolarisés a montré que l'eau du robinet obtenue après traitement par simple chloration, même bien conduite, d'une eau modérément contaminée laisse persister un risque faible mais significatif de gastro-entérites aiguës (32).

Toutes ces observations prouvent que le respect des exigences réglementaires actuelles en terme de contrôle microbiologique de l'eau distribuée ne peut à lui seul garantir la sûreté totale du produit.

Enfin, la persistance des épidémies d'origine hydrique dans les pays industrialisés peut avoir d'autres causes que la détérioration de la ressource en eau, divers incidents de fonctionnement de la filière de traitement ou les travaux sur les réseaux de distribution publics ou privés. Elle tient aussi au développement de segments de population immunodéprimés (population très âgée, patients sous traitements médicaux immunosuppresseurs, malades du sida).

Ainsi, entre janvier et mai 1994, 103 cas de cryptosporidiose pour 100 000 consommateurs d'eau de distribution publique sont apparus dans la population immunodéprimée de la ville de Las Vegas (Nevada, USA) (26). Pourtant, l'eau de distribution publique provenait d'une ressource très protégée, de très bonne qualité, avait subi des traitements multi-barrières utilisant les techniques les plus sophistiquées et bénéficiait d'une exploitation assurant le maintien apparent de cette qualité (turbidité très faible, non détection de *Cryptosporidium*). Les critères de qualité de l'eau au robinet étaient également respectés.

## Le nouveau souffle de la microbiologie sanitaire

La découverte des limites du dispositif a déclenché récemment, sous la pression conjointe du public - relayée par les pouvoirs politiques - et du monde scientifique, une grande quantité de travaux de microbiologie destinés à mieux évaluer l'exposition hydrique des populations aux micro-organismes infectieux. Ces travaux visent une meilleure connaissance de la contamination de l'eau utilisée, de l'efficacité des traitements anti-microbiens et du comportement des micro-organismes dans les canalisations.

Puisque c'est un défaut de qualité initiale de la ressource en eau qui est incriminé en priorité dans les épisodes infectieux liés à l'eau de boisson, il est logique de continuer à privilégier la protection de la qualité des eaux brutes conformément aux recommandations de l'OMS (1994) (24, 32). C'est ainsi que pour identifier les agents infectieux les plus significatifs sur le plan sanitaire, les campagnes de mesure des densités de micro-organismes potentiellement pathogènes dans les eaux brutes tendent à se multiplier. Ces études sont l'occasion d'explorer les corrélations statistiques entre les distributions dans l'espace et dans le temps des uns et des autres, ou avec celles des indicateurs bactériens de la réglementation, selon le contexte. Elles s'appuient sur un développement foisonnant de techniques nouvelles de détection, d'identification et de dénombrement des micro-organismes, qui sont basées sur des approches moléculaires et/ou cellulaires. Elles utilisent des stratégies d'échantillonnage optimisées pour mieux cerner les variabilités spatiales et temporelles des densités microbiennes.

Sur les eaux traitées, l'amélioration des rendements des techniques de concentration fait reculer la limite de détection des micro-organismes potentiellement pathogènes les plus en vue, virus entériques, kystes de *Giardia* et oocystes de *Cryptosporidium*. Mais il subsiste par ailleurs un besoin énorme de travaux sur ces micro-organismes pour évaluer les niveaux d'abattement réalisés par les filières de traitement, ainsi que l'effet du transport dans les réseaux (écologie des micro-organismes dans les réservoirs et les conduites, comportement par rapport aux produits désinfectants).

Ce sont de nouvelles connaissances en écologie microbienne qui permettront d'améliorer les règles techniques pour la protection de l'eau au niveau des captages, ainsi que pour la conception, l'installation et l'exploitation des réseaux et réservoirs, publics et privés (choix des matériaux, procédures de nettoyage et de désinfection).

Dans tous ces champs d'investigation, les microbiologistes ne s'intéressent plus uniquement à la densité dans l'eau des micro-organismes potentiellement pathogènes. Les travaux sur la détermination de la viabilité et de l'infectivité *in situ* se multiplient.

Comment canaliser cet effort de connaissance vers une meilleure efficacité de la prévention des infections hydriques ?

### L'analyse du risque en guise de boussole

Si l'on reste dans le schéma conceptuel classique de l'hygiène publique, il est logique de chercher à améliorer encore le dispositif de prévention en ciblant sur les micro-organismes pathogènes préoccupants tous les perfectionnements possibles, la surveillance de la ressource, l'efficacité

des traitements et le contrôle du produit fini. Mais l'économie des pays industriels peut-elle indéfiniment se permettre les investissements nécessaires ?

A l'inverse, si l'on suit un raisonnement épidémiologique, on tentera d'estimer les risques infectieux liés à l'eau, de façon à pouvoir hiérarchiser les objectifs de gain de santé dans la population générale ou dans certains segments de celle-ci, plutôt que de s'efforcer à lutter contre tous les dangers microbiens connus détectables.

C'est une révolution culturelle pour la gestion des risques sanitaires : dans cette nouvelle démarche, on ne raisonne plus en terme de danger détectable, mais en terme de risque sanitaire acceptable socialement et économiquement.

Fixer une valeur pour le risque acceptable ne relève pas de la démarche scientifique, mais de la décision politique qui prend aussi en considération d'autres éléments que les arguments sanitaires. Evidemment, cet objectif de qualité doit être techniquement réalisable. Il est possible de choisir entre une approche par produit englobant tout ou partie des micro-organismes pathogènes via un indicateur, ou une approche plus spécifique par micro-organisme.

La formalisation de cette démarche d'évaluation des risques liés aux expositions environnementales a été proposée par plusieurs agences américaines responsables de la santé publique, il y a une quinzaine d'années (2, 23). La transparence qu'implique ce processus (11) est très bénéfique à la gestion des risques, dans l'action préventive de fond, comme en temps de crise.

En effet, à partir du moment où l'on est capable de définir l'objectif de qualité du produit fini en termes de risque acceptable, il devient possible d'optimiser avec rigueur l'adéquation entre le traitement et la qualité de l'eau brute.

Pretons par exemple la décision d'un risque acceptable d'infection hydrique parasitaire ou virale de 1/10 000 par personne et par an. La modélisation scientifique de la relation dose-réponse fournit un objectif de qualité du produit fini qui est impossible à vérifier analytiquement (comme 3 oocystes de *Cryptosporidium* dans 100 m<sup>3</sup> ou 2 rotavirus dans 10 000 m<sup>3</sup>) (16). Par contre, pour une ressource de qualité donnée, l'objectif de qualité du produit fini peut se traduire par un objectif d'efficacité de traitement (27). Ou bien, les performances d'efficacité de traitement étant connues, il devient possible de définir des objectifs précis de qualité des ressources.

Dans ce schéma rigoureux, malgré toutes les incertitudes autour de la relation dose-réponse utilisée (et elles sont nombreuses), il est clair que l'absence de détection de pathogène dans le produit fini ne peut être un critère fiable ni pour l'innocuité du produit, ni pour la validation sanitaire de l'efficacité d'un traitement, comme pouvaient le prétendre à tort les tenants de la démarche classique de l'hygiène publique. La stratégie de contrôle du produit fini doit donc être revue. Elle pourrait être organisée de la façon suivante : validation initiale solide de l'efficacité du traitement pour prouver que la solution technique permanente qui a été choisie est bien appropriée au contexte, suivi microbiologique allégé et automatisé pour la détection d'une recontamination ou d'un accident de fabrication, contrôle microbiologique renforcé après un dépassement persistant, jusqu'au retour à la normale.

Des incidents ou dysfonctionnements peuvent effectivement toujours se produire en différents endroits du système de production et de distribution d'eau potable. La démarche d'évaluation du risque peut aider à gérer avec discernement la situation : connaissant la densité accidentelle du pathogène dans l'eau, il est théoriquement possible d'évaluer l'impact

sanitaire, et même de définir le temps pendant lequel le dépassement peut être toléré sans dommage. Il est aussi possible de décider des restrictions d'usage en fonction du niveau de risque encouru (8).

## Vers la diversification et l'ouverture du dispositif de prévention

Puisqu'il s'avère illusoire de vouloir délivrer une eau exempte de tout pathogène, comment prétendre protéger les segments de la population les plus sensibles aux risques infectieux : les jeunes enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes, les patients cardiaques et les immunodéprimés ? La bonne application des règles de protection destinées à la population générale ne suffit plus. Pour protéger ces populations sensibles, traitements multi-barrières, protection de la ressource en eau, qualité de l'exploitation, qualité du produit fini devraient atteindre un niveau de performance tellement élevé qu'il serait techniquement irréalisable, même si la société acceptait de mettre le prix pour le garantir.

L'application rigoureuse du principe de prévention (recherche maximale d'une correction des dangers connus à leur source) conduit alors à mettre en place une surveillance épidémiologique ciblée et à faire des recommandations spécifiques à ces groupes sensibles. Cela revient donc à différencier la gestion du risque infectieux. Pour la boisson et pour la consommation d'eau dans des préparations alimentaires non cuites, les eaux embouteillées ou l'eau bouillie pourront être conseillées (20). Mais il est évident que les recommandations formulées pour l'eau de consommation ne protègent pas vis-à-vis des autres sources de contamination possibles. Nous touchons là aux limites du principe de prévention.

En cette fin de XX<sup>ème</sup> siècle, dans les pays industrialisés, l'objectif scientifique de réaliser un état environnemental de risque zéro et l'illusion de pouvoir donner une réponse technique à toutes les menaces ne résistent pas à l'épreuve des faits. Avec l'avènement politique de la sécurité sanitaire, c'est-à-dire la gestion par les pouvoirs publics des incertitudes sur les dangers et des craintes sur les risques, qui a pour ligne directrice la protection des intérêts sociaux collectifs, la transformation du dispositif socio-technique de gestion des risques infectieux hydriques est en marche. L'ancien dispositif sera probablement conservé de façon à contrebalancer la pression des intérêts économiques. Dans le domaine du contrôle microbiologique, on peut s'attendre à des allègements et au développement de l'automatisation. Mais parallèlement, et c'est la nouveauté, il y aura place pour les raisonnements pragmatiques et localisés centrés sur l'acceptabilité du risque (15). Cette nouvelle approche va nécessiter un développement considérable des études d'évaluation quantitative du risque microbien.

C'est ainsi que les années futures seront encore et toujours celles de la microbiologie de l'eau, si toutefois celle-ci sait faire rapidement sa révolution technologique.

## Références bibliographiques

- ANDERSON C - Cholera epidemic traced to miscalculation. *Nature*, 1991, **354**, 255.
- BARD D - Principes de l'évaluation des risques pour la santé publique liés aux expositions environnementales. *Rev. Epidém. et Santé Publ*, 1995, **43**, 423-431.

- BÉCHAC JP - Evolution de la notion d'hygiène de l'environnement à travers les âges. *Santé publique*, 1996, **2**, 159-174.
- CANGUILHEM G - *Le normal et le pathologique. Du social au vital*. Quadrige/Presses universitaires de France, 1966, 224p.
- CRAUN GF ed - *Methods for the investigation and prevention of waterborne disease outbreaks*. EPA/600/1-90/005 a, 1990, 318 p.
- FOX KR & LYTTLE DA - Milwaukee's crypto outbreak : investigation and recommandations. *JAWWA*, 1996, 87-94.
- FROST FJ, CRAUN GF & CALDERON RL - Waterborne disease surveillance. *JAWWA*, 1996, Sept, 66-75.
- GOFTIL & ZMIROU D - *Le risque infectieux lié à la qualité microbiologique de l'eau potable en France : démarche d'évaluation du risque, applications et axes prioritaires de développement*. Rapport. Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé publique de Grenoble, 1997, 49p.
- GOUBERT JP - *La conquête de l'eau. Les hommes et l'histoire*. Robert Laffont. 1986, 300p.
- GROUPE DE LISBONNE - In : *Limites à la compétitivité*. Editions la Découverte (Paris).
- HAAS CN, ROSE JB, GERBA C *et al.* Risk assessment of virus in drinking water. *Risk analysis*, **13**, 545-552.
- HEALY M - *Studies point up contamination of drinking water*. 1995, Los Angeles Times, 2 juin.
- ISP - *Programme de l'organisation syndicale internationale des Services publics pour l'eau, 1993/1*. Internationale des Services Publics, Ferney-Voltaire, 1997.
- KRAMER MH, HERWALDT BL, CRAUN GF *et al.* Surveillance of waterborne disease outbreaks, US, 1993-94. *JAWWA*, 1996, **88**, 66-80.
- LASCOUMES P - La précaution, un nouveau standard de jugement. *Esprit*, 1997, **11**, 129-140.
- LEGEAS M & DEMILLAC R - Détecter, surveiller, évaluer. *Actualité et dossier en santé publique*, 1998, **23**, XXIV-XXVI.
- Mac FETERS GA ed - *Drinking water Microbiology* - Brock/Springer séries in Contemporary Bioscience, 1990, Springer-Verlag. 502p.
- MANSOTTE F - La loi sur l'hygiène publique de 1902, un des fondements de l'action de l'état au XX<sup>e</sup> siècle. *Santé publique*, 1996, **1**, 53-67.
- MAYOR F - Water and civilization In: *Actes du Premier Forum mondial de l'eau*. 1997, Elsevier Science, Oxford.
- MINISTÈRE DU TRAVAIL ET DES AFFAIRES SOCIALES/DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SANTÉ/CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE PUBLIQUE DE FRANCE - *Microbiologie et eaux d'alimentation : problèmes liés à certaines parasitoses - recommandations pour les malades immunodéprimés*. CFES Vanves, 1997, 14p.
- NATIONS UNIES - Rapport du secrétaire général des Nations Unies, *Evaluation générale des ressources en eau douce du monde, commission pour le développement durable*, 5<sup>e</sup> session, 5-25 avril, New York, 1997.
- NATIONS UNIES - Programme pour la mise en œuvre de l'agenda 21, adopté par la 19<sup>e</sup> session spéciale de l'Assemblée Générale, 1997, New York, 1<sup>er</sup> juillet.
- NEUMANN DA & FORAN JA - Assessing the risks associated with exposure to waterborne pathogens: an expert panel's report on risk assessment. *J Food Protection*, 1997, **60**, 1426-1431.
- OMS - *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. 2<sup>e</sup>me ed. Vol.1 Recommandations, 1994.
- PAYMENT P, RICHARDSON L, SIEMIATYCKI J *et al.* - A randomized trial to evaluate the risk of gastro-intestinal disease due to consumption of drinking water meeting current microbiological standards. *Am J Public Health*, 1991, **81**, 703-708.
- ROEFER PA, MONSCVITZ JT, REXING DJ - The Las Vegas cryptosporidiosis outbreak. *JAWWA*, 1996, 95-106.
- ROSE JB & GERBA CP - Use of risk assessment for development of microbial standards. *Wat Sci Tech*, 1991, **24**, 29-34.
- SALAZAR-LINDO E, ALEGRE M, RODRIGUEZ M *et al.* - The peruvian cholera epidemic and the role of chlorination in its control and prevention. In Craun, GF ed - *Safety of water disinfection. Balancing chemical and microbial risks*. ILSI Press. 1993. 690 p.
- TRUDEL R - *Déclaration du ministre des affaires municipales du Québec*. 1997. Le devoir, Montréal, 14 avril.
- VIAL J - Les risques sanitaires liés à la microbiologie de l'eau : évolution et modalités d'évaluation. *TSM*, 1995, **3**, 172-179.
- ZMIROU D - Hygiène et environnement, matrice de la santé publique. *Politique Santé*, 1997, **1**, XIII.
- ZMIROU D, REY S, COURTOIS X *et al.* - Residual microbiological risk after simple chlorine treatment of drinking groundwater in small community systems. *Eur J Public Health*, 1995, **5**, 75-81.