

Contrôle de la pollution de l'eau

par **Antoine MONTIEL**

Responsable de la Mission Scientifique pour la Qualité de l'eau à la Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris (SAGEP)

1. Notions de risques biologique et chimique	C 4 195 - 2
1.1 Eau d'alimentation	— 2
1.2 Caractérisation des risques	— 2
2. Évaluation du risque sanitaire	— 4
2.1 Indicateurs microbiologiques de pollution	— 4
2.2 Spécificité des germes fécaux banaux	— 5
2.3 Réaction aux traitements	— 5
2.4 Évaluation des risques à partir de la quantité de germes tests.....	— 6
3. Interprétation des analyses	— 6
3.1 Maintien de l'information	— 6
3.2 Délais d'analyses	— 8
4. Méthodes d'analyses utilisables pour le contrôle des eaux	— 11
5. Conclusion	— 11
Références bibliographiques	— 12

La pollution des eaux est une notion qui est en constante évolution. Dans le passé, la pollution concernait des substances ajoutées volontairement ou involontairement dans les eaux par l'homme. On ne pouvait donc pas considérer, par exemple, qu'une eau naturellement riche en arsenic était une eau polluée.

Aujourd'hui, cette notion évolue et une nouvelle définition de la pollution des eaux serait plutôt : toute substance qui interdit un usage de l'eau peut être considérée pour cet usage précis comme une pollution. En ce qui concerne l'eau destinée à la consommation humaine, une eau naturellement riche en arsenic devient donc une eau polluée.

L'eau de surface peut aussi être polluée si elle a un effet néfaste pour la faune et la flore. Dans la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, le délit de pollution précise bien que c'est toute substance ajoutée volontairement ou non à l'eau, qui a une action néfaste vis-à-vis de la faune, de la flore.

En ce qui concerne l'eau destinée à la consommation humaine ou indirectement les aliments entrant dans la ration alimentaire, on considérera qu'il y a pollution de l'eau si l'eau peut directement ou indirectement être à l'origine de maladies.

1. Notions de risques biologique et chimique

Nous devons distinguer cinq types de circonstances pouvant conduire à des maladies ou à des malaises :

- le **contact direct de l'eau** et les polluants aquatiques à l'occasion de bains, de soins d'hygiène etc. ; c'est le cas des baignades. Il peut y avoir un risque chimique mais il est largement inférieur au risque biologique (bactéries, virus, amibes...);

- l'**ingestion d'eau d'alimentation** : eau de boisson ou de préparation d'aliments (thé, café, potages...). Le risque chimique, là aussi, est généralement moindre que le risque microbiologique, dont le niveau dépend du degré de développement des pays ;

- l'**ingestion d'aliments contaminés par l'eau** dans le milieu récepteur avec simple souillure ou avec transformation et concentration des polluants ou de leurs métabolites par des écosystèmes et contamination de la chaîne alimentaire (mercure, cadmium, pesticides...). Dans ce cas, le risque chimique peut être prépondérant ;

- l'**inhalation d'eau** : ce risque prend en compte notamment certaines maladies d'origine microbienne dues à des inhalations d'eau par les circuits de climatisation, les baignades, les douches. Ce sont principalement les légionelles, certaines mycobactéries, des amibes (*Neogleria fowleri*) ;

- le **manque d'eau** : il peut être un risque tout à fait indirect et lié au coût du mètre cube d'eau qui induit une réduction de la consommation journalière. Cette réduction peut se traduire par une baisse de l'hygiène et donc l'apparition possible de maladies.

Le coût du mètre cube d'eau est directement lié à son traitement et donc à la pollution de la ressource. C'est la raison pour laquelle, dans toute gestion de ressource, les actions préventives doivent être privilégiées par rapport aux actions curatives.

1.1 Eau d'alimentation

L'eau d'alimentation ne constitue que quelques pour-cent du total de l'eau de distribution consommée.

Nous devons donc envisager deux grands types de problèmes :

- la première catégorie est liée à la qualité de la ressource ;
- la seconde catégorie est liée à des modifications fortuites ou délibérées de la qualité de l'eau hors du milieu récepteur, c'est-à-dire lors du traitement ou de sa distribution.

Au stade du traitement, les produits chimiques utilisés peuvent contenir des impuretés ou conduire à des interactions avec formation de composés de réactions secondaires (haloformes).

Les circuits de distribution publics ou privés peuvent ensuite conduire à des interactions eau-canalisation et amener par cette occasion une dégradation de la qualité de l'eau. De même, on pourra avoir des post-proliférations bactériennes (biofilm).

Enfin, la correction ou des modifications de l'eau dans le domaine privé correspondant à ce que l'on appelle des post-traitements (déméralisation, échange d'ions, traitements anticorrosion...) pourront apporter des micropolluants et/ou créer un déséquilibre de l'eau se traduisant, par exemple, par des processus de corrosion mobilisant certains micropolluants à partir des conduites.

Avec l'apparition de la nouvelle directive de l'OMS et la nouvelle valeur fixée pour le plomb, ce phénomène a bien été identifié [13].

1.2 Caractérisation des risques

Le but du contrôle de l'eau est de minimiser les risques que fait courir l'eau à l'homme soit directement, soit indirectement.

Nous distinguerons trois types de risques : à court, moyen et long terme.

1.2.1 Risques à court terme

C'est un risque essentiellement microbiologique. Nous avons les bactéries, les virus, les levures, les champignons, les protozoaires et les helminthes (tableau 1) [2] [7].

■ Les **bactéries** : les risques résultant de leur présence permettent de les classer en deux groupes principaux :

- le premier groupe rassemble les bactéries de caractère biologique assez proche dont l'habitat normal est l'intestin de l'homme ou certains animaux à sang chaud. La contamination se fait par les matières fécales. Ce sont le vibrion cholérique, les salmonelles, les shigelles, les *Escherichia coli*, les streptocoques (groupe D), les pseudomonas... [6] [5] ;

- le second groupe rassemble des bactéries susceptibles de provoquer des infections cutanées ou cutanéomuqueuses. Ce sont les pseudomonas, les staphylocoques, les streptocoques, les légionelles... Ces micro-organismes peuvent provenir de matières fécales, mais ce n'est pas une obligation.

■ Les **virus** : par opposition aux microbes, les virus ne se reproduisent pas, ils sont nécessairement synthétisés par une cellule vivante dont ils détournent les mécanismes normaux de synthèse. Ce sont des parasites absolus. La cellule support en meurt généralement. Ce sont les entérovirus, les rhéovirus, les adénovirus, les virus de l'hépatite A dite épidémique ou infectieuse.

■ Les **levures et champignons** : certaines de ces mycobactéries peuvent être à l'origine d'affections cutanées ou du système respiratoire. D'autres ont une origine fécale : *Candida albicans*.

■ Les **helminthes** : ce sont les ascaris, les trichuris pathogènes après infection orale ou les ankylostomes et strombyloïdes (anguilules) après infection cutanée.

■ Les **amibes**, notamment *Naegleria fowleri*.

1.2.2 Risques à moyen terme

Ce sont des risques chimiques dus aux nitrates, aux nitrites, au fluor, au sulfate de magnésium, au sodium et à la dureté (calcium + magnésium).

■ Les **nitrates** : ils peuvent être à l'origine de la nitrosométhémoglobine chez les nourrissons de moins de 6 mois. En effet, la flore intestinale permet une réduction des nitrates et nitrites qui bloquent les échanges gazeux au niveau du sang. La dose de 50 mg/l ne doit pas être dépassée. Mais, là aussi, cette norme s'applique plus à des personnes de pays développés qu'à celles des pays en voie de développement.

En effet, les nitrates sont donnés aux nourrissons par l'intermédiaire de l'eau qui sert à préparer les biberons à partir de lait en poudre. Dans le cas d'un nourrisson allaité, le problème ne se pose pas, ce qui explique des doses de 100 mg/l de nitrates dans l'eau ne conduisent à aucun accident. En plus, les nitrates doivent être accompagnée d'une eau de très mauvaise qualité bactériologique. C'est l'effet de ces deux paramètres qui induit le risque, cela explique des écrits tout à fait contradictoires sur les nitrates.

Lorsque les teneurs en nitrates sont de l'ordre de 100 mg/l, on peut avoir formation de nitrosamines qui sont des composés cancérigènes, tératogènes et mutagènes à la dose de 1 mg/l. Les nitrosamines peuvent être ingérées à l'intérieur de l'intestin. Des corrélations entre nitrates, nitrosamines et cancer ont été établies en Colombie [4] et en Illinois [3].

Tableau 1 – Risques à court terme dus à l'eau. Principaux micro-organismes concernés

Organismes	Maladie	Principal site atteint
Bactéries		
Salmonella typhi	Fièvre typhoïde	Système gastro-intestinal
Salmonella para typhi A, B, C	Fièvres entériques	
Salmonella cholerae suis	Gastro-entérites	
Salmonella enteritidis et autres sérotypes (2 000 environ)		
Shigella sp.	Dysenterie	Système gastro-intestinal
Vibrio cholerae	Choléra	Intestin
Entéropathogènes	Gastro-entérites	Système gastro-intestinal
Escherichia coli	Gastro-entérites	
Francisella tularensis	Tularémie	Système respiratoire, système gastro-intestinal, ganglions lymphatiques
Bacillus anthracis	Charbon	
Leptospira icterohaemorrhagiae	Leptospirose	Généralisé
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculose	Poumons et autres organes
Protozoaires		
Entamoeba Histolytica	Amibiase	Système gastro-intestinal
Naegleria gruberi	Méningite encéphalitique amibienne	Système nerveux central
Vers parasites		
Taenia saginata	Ascariase	Système gastro-intestinal
Ascaris lumbricoides		Intestin grêle
Schistosoma mansoni	Schistosomiase	Reins
Schistosoma japonicum		
Schistosoma haematobium		
Necator americanus	Ancylostomiase	Système gastro-intestinal
Ancylostoma duodenale		
Diphyllobothrium latum	Diphyllobothriase	Système gastro-intestinal
Echinococcus granulosus	Echinococcose	Foie et poumons
Anisakis sp.	Anisakiase	Système gastro-intestinal

■ Les **nitrites** : quel que soit l'âge de l'individu, ils bloquent les échanges respiratoires au niveau du sang. Les eaux ne doivent pas avoir en Europe plus de 50 mg/l de nitrites.

■ Le **fluor** : une carence en fluor provoque des caries dentaires chez les enfants. Par contre, un excès peut être à l'origine de l'émail marbré, voire la fluorose. Les eaux, suivant la latitude, ne doivent pas avoir plus de 0,7 mg/l de fluor pour les pays chauds et 1,5 mg/l pour les pays froids.

■ Le **sulfate de magnésium** : il a la propriété de rendre l'eau laxative. Cet effet se fait sentir si l'on a plus de 30 mg/l de Mg^{2+} et plus de 125 mg/l de sulfates.

■ Le **sodium** : bien que le problème ne soit pas parfaitement éclairci, il semble que la présence exagérée de sodium dans les eaux ne soit pas à négliger complètement sur le plan sanitaire. Il se pourrait en effet que le sodium affecte certaines populations (sujets souffrant de néphrites, d'hypertension...), mais il semble aussi qu'il puisse affecter certains sujets normaux (augmentation de la tension sanguine chez les adolescents aux États-Unis avec une eau compor-

tant 107 mg/l de sodium). Selon l'auteur de cette étude, la teneur de 100 mg/l ne devrait pas être dépassée.

■ La **dureté de l'eau** : lorsqu'elle est excessive, elle constitue un inconvénient pour de nombreux usages domestiques et industriels. La correction des eaux dures peut donc s'imposer dans certaines circonstances pour des raisons esthétiques ou technologiques.

Divers procédés sont utilisés parmi lesquels l'échange d'ions occupe une large place. Mais une correction de ce type, excessive et mal contrôlée, modifie considérablement l'équilibre de l'eau. Il ne semble pas qu'une telle pratique soit souhaitable au plan sanitaire pour plusieurs raisons probablement liées :

- enrichissement de l'eau en ions sodium ;
- enrichissement de l'eau en éléments indésirables ou toxiques par corrosion des canalisations (Cu, Zn, Fe...);
- mise en évidence épidémiologique d'un (ou de) facteur(s) lié(s) à la fréquence de la morbidité et de la mortalité cardiovasculaire.

Il semble que le déficit en magnésium soit le principal facteur, mais des études doivent être poursuivies et incitent cependant à la prudence.

1.2.3 Risques à long terme

Ces risques incluent les phénomènes d'accumulation des métaux toxiques et les risques de cancer. On classera ces composés en deux groupes.

1.2.3.1 Éléments indésirables

Il s'agit d'éléments tels que le fer, le zinc, le manganèse, le cuivre qui, en excès, peuvent être responsables de mauvais goûts, de coloration de l'eau ou de post-précipitations qui favorisent les post-proliférations bactériennes.

Ces phénomènes, mis à part le manganèse, peuvent être dus à des phénomènes de corrosion. Ils ne posent pas à proprement parler de problèmes toxicologiques, encore que le zinc ne soit pas totalement exempt de propriétés biologiques et qu'il puisse être accompagné de cadmium.

1.2.3.2 Éléments toxiques

■ Métaux directement toxiques :

— l'*arsenic* est cancérigène. Il convient d'en limiter les teneurs dans les eaux (10 µg/l) ;

— le *mercure* : l'accident de Minamata en 1953 nous a rappelé les très hauts risques toxiques du mercure, surtout dus à son accumulation (1 µg/l) ;

— le *cadmium* : comme le mercure, il s'accumule et a été responsable d'une intoxication collective au Japon. La maladie est appelée maladie d'Itaï-Itaï. La teneur limite est de 5 µg/l ;

— le *plomb* : la maladie contractée pour une dose de plomb absorbée trop importante durant des années est le saturnisme. Des travaux récents ont mis en évidence l'accumulation du plomb dans les tissus mous et l'OMS a modifié la valeur de 50 µg/l à 10 µg/l. Ce risque inclut l'ingestion d'eau chez les jeunes enfants. Ce sont surtout ici des problèmes de distribution à l'intérieur des immeubles. Un délai de 15 ans a été proposé par l'Union européenne pour satisfaire à cette norme donc pour éliminer les canalisations en plomb des immeubles anciens [12] ;

— le *chrome* : il est suspecté de potentialité cancérigène à l'état hexavalent. La limite est de 50 µg/l ;

■ Éléments minéraux divers toxiques dans des cas particuliers :

— les *nitrites* : à des doses supérieures à 100 mg/l, ils peuvent conduire à la formation in vivo de nitrosamines cancérigènes ;

— l'*aluminium* : en dialyse rénale, il a été facteur d'encéphalopathies. La dose maximale est de 30 µg/l pour la dialyse et de 200 µg/l pour l'eau de distribution ;

— le *sélénium* : avec un niveau de 10 µg/l proposé ;

— les *bromates* dont l'origine est soit l'ozonation des eaux, soit la chloration des eaux avec un niveau de 10 µg/l proposé ;

— les *radionucléides* : leur danger potentiel est lié au risque de contamination interne, avec effet sur les organes cibles et à leur rétention biologique.

■ **Micropolluants organiques** : ici, la liste est trop importante pour pouvoir tous les citer (entre 1965 et 1972, un million de molécules nouvelles ont été synthétisées). Ces composés peuvent s'accumuler et être cancérigènes.

On pourra donc soit rechercher spécifiquement des composés, soit effectuer des tests biologiques de cytotoxicité ou de mutagenèse :

— les *détergents* (limite 200 µg/l) : il n'est pas impossible que la présence de traces de détergents dans l'eau d'alimentation puisse favoriser la pénétration et la digestion de certains autres composés et particulièrement de dérivés toxiques tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques ;

— les *phénols* et leurs dérivés (limite 0,5 µg/l) : en présence de chlore, ils conduisent à la formation de chlorophénols très sapides ;

— les *résidus de produits phytosanitaires* : pesticides (limités à 0,5 µg/l au total et à 0,1 µg/l par substance individualisée) : le risque

aigu lié à l'utilisation de ces molécules est relativement bien connu chez l'animal et chez l'homme. On ne sait que peu de choses sur le risque dû à l'ingestion de microdoses de ces composés. La nouvelle directive proposée par l'Union européenne prévoit d'y ajouter les produits de réaction ou de dégradation de ces produits phytosanitaires [12] ;

— les *hydrocarbures* (limite : 10 µg/l indice CH₂) : certains composés peuvent être cancérigènes tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques (limite 200 ng/l au total) ;

— les *haloformés* : ce sont des composés du type chloroforme pouvant être formés lors de la chloration des eaux. Des études épidémiologiques essaient de déterminer leur potentiel toxique. Il est prévu une limite à 100, peut être 85 µg/l pour les 4 trihalométhanes CH_x3 (x = Cl ou Br).

2. Évaluation du risque sanitaire

2.1 Indicateurs microbiologiques de pollution

Il est souvent difficile et très long de dénombrer les micro-organismes pathogènes dans une eau en raison surtout du petit nombre de ceux-ci.

Il paraît donc préférable de dénombrer des micro-organismes indicateurs pathogènes, en général plus faciles à mettre en évidence et dont la présence correspond à la possibilité de trouver un pathogène ou un groupe de pathogènes donnés.

Les indicateurs de pollution ont été définis à différentes reprises et rappelés en 1972 à Stockholm lors de la conférence organisée par les Nations-Unies [8].

Il n'existe pas d'indicateur idéal. Le meilleur reste celui dont la densité présente la corrélation la plus élevée avec des manifestations morbides associées.

Le témoin de pollution doit être mesurable avec un maximum de garanties, présenter une certaine résistance aux influences extérieures, notamment aux désinfectants les plus courants, de façon que le plus résistant, le plus réfractaire soit susceptible d'être présent en quantité suffisante pour constituer un risque.

Les témoins de pollution doivent être détectés et dénombrés grâce à des méthodes simples, à la portée de tout laboratoire d'analyse. Elles sont souhaitées peu coûteuses. Il sera fait un choix de techniques aussi exactes que possible, jouissant toutefois d'une spécificité élevée.

Dans les eaux de boisson, en fait, on ne se borne pas à rechercher un groupe d'indicateurs, celui des bactéries indicatrices de contamination fécale, de rétention et de désinfection chimique (coliformes fécaux, ou *Escherichia coli*, streptocoques fécaux).

Aucune méthode n'a réussi à se substituer à la recherche systématique des germes tests de contamination fécale. À l'état actuel, de la science et de la technique, ces méthodes vieilles de plus de 80 ans restent les plus simples et les moins onéreuses.

■ Indicateurs de pollutions fécales :

- coliformes thermotolérants ou *Escherichia coli* (0/100 ml) ;
- streptocoques fécaux ou entérocoques (0/100 ml).

■ Indicateurs de traitements de désinfection chimique :

- streptocoques fécaux (0/100 ml) ;
- coliformes totaux.

■ Indicateur de traitement par rétention physique (filtration) :

— clostridium sulfito-réducteur (Clostridium perfringens) ($\leq 1/20$ ml).

■ Indicateurs de dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution :

— germes aérobies revivifiables :

22 °C pendant 72 h (100/ml) ;

37 °C pendant 48 h (20/ml).

Leur rôle est bien sûr de déceler une pollution fécale mais aussi d'en estimer l'importance et, de ce fait, d'évaluer le risque lié aux pathogènes fécaux.

On admet en général comme hypothèse que les lois d'élimination des germes pathogènes et des germes tests sont comparables et qu'à un abattement important de germes tests correspond une élimination poussée des germes pathogènes.

Cela revient à admettre que les germes tests retenus comme indice d'une contamination fécale sont également des indices valables de l'efficacité d'une désinfection naturelle ou artificielle. Si cela n'était pas le cas et que des germes pathogènes soient plus résistants que les germes tests, des résultats d'analyses satisfaisants ne traduiraient pas une diminution concomitante du risque sanitaire et donneraient une sécurité illusoire.

Indépendamment des indicateurs précédents constitués par des germes ou des groupes de germes, la flore bactérienne aérobie peut être aussi utilisée comme indicateur de traitement ou de pollution. Toute variation de ce nombre doit pouvoir être expliquée [9].

Une étude menée par le Dr Vial a montré que sur des eaux de sources, prélevées au griffon, la fréquence de présence de coliformes augmente proportionnellement à la densité bactérienne : dans les échantillons où aucun germe n'est dénombré à 37 °C, la fréquence de présence de coliformes dans 100 ml n'est que de 3 %. Elle passe à 35 % lorsque le dénombrement bactérien est supérieur à 20 germes/ml.

De plus, des prélèvements doivent permettre de pouvoir faire une extrapolation de l'analyse effectuée sur un litre d'eau ou moins à une masse d'eau pouvant aller jusqu'à des milliers de mètres cubes.

L'apparition de nouvelles maladies hydriques dues à des parasites tels que Giardia et Cryptosporidium a montré que l'absence de germes indicateurs ne conduisait pas à une sécurité absolue. Comme ces germes ne peuvent être éliminés que par rétention physique, la mesure de la turbidité de l'eau (trouble), après traitement de clarification-filtration, permet de s'assurer d'un bon traitement. Pour une eau de surface traitée, la turbidité de l'eau filtrée ne devrait pas être supérieure à 0,3 NTU, l'objectif étant plutôt à 0,1 à 0,15 NTU (Nephelo metric Turbidity Unit).

Afin de pouvoir gérer en continu la qualité d'une eau traitée, il a été introduit la notion de CT (concentration en résiduel de désinfectant chimique après un temps de contact donné) pour s'assurer d'une garantie de désinfection à condition bien sûr que la turbidité de l'eau ne protège pas ces germes ($\leq 0,3$ NTU).

2.2 Spécificité des germes fécaux banaux

Dans les climats tempérés, il semble, sauf cas tout à fait exceptionnel, que les germes Escherichia coli, streptocoque fécal du groupe D et Clostridium perfringens correspondent bien à des pollutions fécales. De même, la sélection due à la différence de température entre le corps humain et le milieu eau est constatée pour toutes les espèces, y compris les pathogènes.

Dans les pays chauds au contraire, ces bactéries peuvent survivre dans les eaux et même se multiplier. On ne trouve plus de différence entre Escherichia coli et Citrobacter, Klebsiella, Entérobacter. Il est donc difficile de déceler une pollution fécale. En effet, si Escherichia

coli correspond à 90 % de la flore des coliformes intestinaux, aux tropiques, Klebsiella et Citrobacter peuvent aussi vivre à 44 °C.

Les streptocoques fécaux caractérisent aussi une pollution fécale surtout aux tropiques.

Par contre, on a proposé la recherche d'autres germes, en particulier Bifidobactérium qui est une bactérie anaérobie très spécifique des pollutions fécales aux tropiques. Des exemples montrent les risques que l'on peut encourir lorsque l'on ne prend qu'Escherichia coli comme indicateur de pollution et évaluation de risque [9].

Des études effectuées sur le rapport coliformes/salmonelles dans des eaux de surface polluées donnent, en pays tempérés, de 66 000/1 à 650/1, ce qui montre déjà que la relation n'est pas simple, mais le nombre de coliformes est cependant bien supérieur. Dans des zones chaudes, en Galilée en Israël, on a obtenu des rapports 0/5 et 1/5, ce qui montre que la survie des salmonelles est très influencée par la température de l'eau ainsi que par la présence de nutriments.

2.3 Réaction aux traitements

Des essais de traitement par du chlore sous ses formes HOCl et complexes : NHCl_2 et NH_2Cl montrent les différentes réactions de ces germes à ces oxydants.

La concentration indiquée dans le tableau 2 ci-après correspond au résiduel nécessaire pour une destruction des germes à 99,999 % en 10 min à 25 °C.

Tableau 2 – Résiduel d'oxydant biocide nécessaire pour obtenir un abattement de 5 logs de micro-organismes après 10 min de contact			
Germes			
Oxydants	Kystes d'amibes	Bactéries entériques	Virus entérique
HOCl	3,5	0,02	0,40
NHCl_2	6,0	1,20	5,00
NH_2Cl	18,6	4,00	20,00
5 logs = 5 puissances de 10 (1/100 000)			

Ces différences s'expliquent par le fait que dans les germes tests on ait introduit une bactérie sporulant : le Clostridium perfringens.

Escherichia coli réagit comme les salmonelles vis-à-vis des traitements. Par contre, les streptocoques fécaux sont beaucoup plus résistants. Il est regrettable que maintenant, en France et en Europe, des normes plus sévères n'aient pas été imposées pour ces germes qui permettent de montrer que certaines bactéries résistent aux traitements. Ce germe, surtout dans les pays de zone chaude, devrait être recherché en contrôle de routine.

Un indicateur de traitement physico-chimique : filtration, floculation-décantation-filtration, est très bien représenté par les Clostridium perfringens car ils sporulent et peuvent traverser la chaîne de traitement. Il est satisfaisant de voir que les normes européennes à la différence des normes françaises anciennes aient pris en considération cet indicateur et fixent sa concentration limite à moins de 10 germes/100 ml.

2.4 Évaluation des risques à partir de la quantité de germes tests

L'évaluation de la qualité bactériologique des eaux naturelles ne repose pas sur le dénombrement de germes pathogènes mais sur celui des germes de la flore intestinale banale. Il faut donc établir des corrélations entre le dénombrement de ces germes et la présence de germes pathogènes.

Une telle corrélation a été établie dans des eaux de surface et figure dans le tableau suivant :

Probabilité de présence de salmonelles	Nombre d'Escherichia coli dans 100 ml d'eau
10 à 30 %	< 1 000
70 à 90 %	> 2 000

Pour les virologues, cette corrélation n'existe pas. Il n'existe donc pas de méthode simple permettant d'apprécier le risque épidémiologique lié aux virus. Seule la notion de CT permet une garantie de désinfection.

Cependant, si une eau est polluée par des germes tests de contamination fécale, le risque de présence de virus pathogènes pour l'homme est grand. Néanmoins, l'absence de germe test n'est pas une preuve de l'absence de virus.

L'épidémie d'hépatite de Delhi a montré que la bonne désinfection constatée par la disparition des germes tests ne permettait pas d'être garantie contre une épidémie virale.

3. Interprétation des analyses

Il y a encore quelques années, les analyses d'eaux ne portaient que sur des éléments majeurs. De plus, la plupart des laboratoires effectuaient eux-mêmes les prélèvements. L'évolution des techniques analytiques de plus en plus sophistiquées, la liste des éléments à doser et les limites de détection à atteindre ont contraint les laboratoires à une spécialisation de plus en plus poussée.

Ce phénomène de spécialisation a fait que :

- les préleveurs ne sont plus les analystes ;
- les contacts entre les préleveurs et les analystes sont assez rares ;
- l'opération de prélèvement prend de plus en plus d'importance ;
- l'éloignement des points de prélèvement et l'automatisation des analyses imposent un stockage des échantillons ;
- les analyses sont faites par plusieurs laboratoires à des temps différents.

En effet, si un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultats analytiques significatifs, il est tout aussi important de savoir le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire.

On devra donc ajouter à la consigne des préleveurs : « Un prélèvement ne peut être fait n'importe où, n'importe quand, par n'importe qui », la phrase « dans n'importe quoi, stocké n'importe où, pendant n'importe quelle durée ».

Si toutes ces précautions sont remplies, alors l'analyste peut effectuer les analyses. Notre propos ici n'est pas de redéfinir les conditions de prélèvement mais de prendre en compte l'intervalle de temps entre le prélèvement et l'analyse au laboratoire. Il faut bien

sûr faire en sorte que les variations de l'élément à déterminer soient les plus faibles possible.

Nous devons donc étudier deux points :

- le maintien de l'information ;
- le délai limite d'analyse.

Les données suivantes sont le résumé d'une étude de deux ans qui a porté sur tous les paramètres déterminés dans les eaux [10].

3.1 Maintien de l'information

3.1.1 Lavage des flacons de prélèvements

Nous devons distinguer trois types d'analyses :

- les analyses d'éléments minéraux ;
- les analyses d'éléments organiques ;
- les analyses bactériologiques.

3.1.1.1 Analyses d'éléments minéraux

Le lavage avec le mélange sulfochromique est à proscrire en raison de la transformation du chrome VI en chrome III facilement adsorbé par le verre. L'utilisation de détergents est à proscrire également en raison de leur teneur en phosphates et/ou phosphonates.

Le mode de lavage retenu après l'étude a été un trempage dans de l'acide nitrique 1M pendant 24 h, suivi d'un rinçage à l'eau du robinet, puis d'un second lavage à l'acide nitrique 3M et rinçage à l'eau distillée.

3.1.1.2 Analyses d'éléments organiques

Ces éléments comprennent soit les paramètres globaux de pollutions organiques, soit des micropolluants organiques à l'état de traces (pesticides, hydrocarbures...).

Les détergents sont à proscrire.

Le mode de lavage retenu est le mélange sulfochromique suivi d'un rinçage à l'eau du réseau puis d'un second lavage avec de l'acide nitrique 3M et rinçage à l'eau distillée.

Dans certains cas particuliers de recherches de composés à l'état de trace, on pourra rincer la verrerie avec le solvant d'extraction du composé à doser.

3.1.1.3 Analyses bactériologiques

Le lavage à l'acide nitrique peut être utilisé mais les détergents sont eux aussi compatibles avec les analyses futures.

Dans ce cas, le lavage doit être suivi d'une stérilisation. Celle-ci peut être obtenue de deux manières suivant le matériau du flacon :

- stérilisation par la chaleur pour les flacons de verre (four Pasteur à 180 °C pendant 1 h 30 ou autoclavage à 120 °C pendant 1 h) ;
- irradiation à une dose de 2,5 Mrad par des électrons accélérés de 10 MeV pour les flacons en polyéthylène.

Ces 2 types de stérilisation sont tout aussi efficaces mais comme nous venons de le voir dépendent du matériau du flacon.

3.1.2 Choix du matériau du flacon

Ce choix est dicté par plusieurs impératifs :

- l'effet du matériau lui-même ;
- l'élément à doser.

3.1.2.1 Effet du matériau

Il est évident que, bien souvent, le réemploi d'un flacon peut conduire à des effets de mémoire et à des pollutions.

Nous avons sélectionné des types de flacons suivant leur composition, leur mode de bouchage et leur prix. Les résultats sont reportés dans le tableau 3.

Matériau	Bouchage	Prix (1)
Pyrex	Émeri	++++
Pyrex	Vissé	+++
Verre chimie blanc	Vissé	++
Verre chimie brun	Vissé	++
Polyéthylène	Vissé	+
Polychlorure de vinyle	Vissé	+

(1) Le nombre de croix correspond au coût relatif : ++++ = très onéreux

Il est évident d'avoir à réutiliser les flacons Pyrex. Par contre, dans le cas des flacons en polyéthylène, l'usage unique pourra être envisagé, ce qui réduit considérablement les pollutions par effet de mémoire ainsi que les lavages.

Dans le cas de flacons, même onéreux, ayant contenu des échantillons d'eau très polluée, il ne faudra absolument pas les réutiliser.

L'autorité sanitaire, consciente de l'opération de prélèvement, étudie la possibilité d'accréditer les organismes chargés des prélèvements d'eau pour analyse.

3.1.2.2 Élément à doser

■ **Éléments minéraux** : pour les éléments minéraux majeurs, on utilise des flacons en polyéthylène à usage unique ayant subi un simple rinçage à l'eau distillée.

Pour les éléments à l'état de trace, non volatils, le polyéthylène est convenable. Cependant, il est indispensable d'effectuer, avant emploi, un rinçage à l'acide nitrique environ molaire.

Dans le cas de l'utilisation du verre, Pyrex ou chimie, le réemploi est possible. Par contre, ici encore, les flacons ayant contenu des eaux trop polluées (> 10 mg/l) doivent être détruits.

Dans le cas des éléments volatils : mercure, sulfures, cyanure, le verre Pyrex bouché émeri est indispensable.

■ **Éléments organiques** : le plastique est à proscrire. Le verre pyrex ou chimie est utilisable. Une attention toute particulière doit être apportée aux bouchons qui peuvent être à l'origine de pollutions.

■ **Analyses bactériologiques** : le matériau le plus utilisé est le verre, mais on peut aussi prendre le polyéthylène à usage unique.

La comparaison entre le verre chimie et le plastique a été faite sur des eaux de rivière. Six séries d'essais ont été effectuées à 4 et 20 °C, à la lumière et à l'obscurité. Les germes tests de contamination fécale ont été dénombrés par la méthode 3 fois 3 tubes. L'interprétation statistique des résultats montre qu'il n'y a aucune différence nette entre le plastique et le verre à 4 °C. Par contre, à 20 °C, le verre paraît meilleur.

3.1.3 Maintien de l'information

Malgré le bon choix du flacon, certains éléments doivent être « bloqués » sur place. Ce traitement a pour but d'éviter :

- les adsorptions ;
- les volatilisations ;
- les précipitations ;
- les biodégradations ;
- les photodécompositions ;
- l'effet bactéricide de certains composés.

■ **Adsorption** : cela concerne les éléments minéraux à l'état de trace. Pour les éléments organiques à l'état de trace, le plastique est à proscrire. Par contre, nous devons prendre en compte pour ces 2 types d'éléments, l'adsorption sur les matières en suspension. Dans le cas des métaux, un pH < 2 (HNO₃) évite toute adsorption sur le verre ou les matières en suspension.

■ **Volatilisation** : cela concerne les cyanures, les phénols et les sulfures. Nous pouvons les mettre sous forme ionique : CN⁻, S²⁻ par exemple. On utilisera donc le pH > 12 (NaOH). Dans le cas du mercure, on évitera les milieux réducteurs par ajout de permanganate de potassium en milieu sulfonitrique.

■ **Précipitation** : certains éléments précipitent durant le transport des échantillons ; le fer à la valence III, par exemple, précipite et peut entraîner d'autres éléments présents à l'état de traces. Dans le cas des éléments minéraux, un pH < 2 évite ces précipitations. Dans le cas d'une eau riche en acides humiques, un milieu acide permettra leur précipitation.

■ **Biodégradation** : certains éléments se biotransforment : NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, détergents, phénols, COT (carbone organique total), DCO (demande chimique en oxygène), DBO (demande biochimique en oxygène), micropolluants organiques... Il est donc indispensable de stopper toute vie biologique.

Dans cette étude, nous avons volontairement évité l'emploi du chlorure mercurique. Nous avons donc utilisé soit le milieu acide ou basique (pH < 2, pH = 4, pH > 10), soit un solvant à action bactéricide, lorsque celui-ci était utilisé dans l'analyse de l'échantillon : chloroforme pour les détergents et les SEC (substances extractibles du chloroforme), tétrachlorure de carbone pour l'indice CH₂, soit une température inférieure ou égale à 4 °C.

La variation de pH est utilisée comme suit :

- acide sulfurique (pH = 2) pour DCO, azote organique, ammoniacque et nitrates ;
- acide nitrique (pH = 4) pour le dosage du COT ;
- soude (pH = 10) pour les cyanures et les phénols quand il n'y a pas de sels de cuivre.

■ **Photodécomposition** : certains éléments sont sensibles à la lumière. Il faudra donc les transporter soit à l'obscurité, soit en flacon brun ou inactinique.

■ **Effet bactéricide** : dans le cas des analyses bactériologiques, il est indispensable d'éliminer l'agent bactéricide résiduel qui peut être soit un oxydant : chlore, bioxyde de chlore, ozone, chloramine, soit un biocide chimique non oxydant : Cu²⁺ ou Ag⁺. Dans le premier cas, on ajoutera dans le flacon, avant la stérilisation, une solution de thiosulfate. Dans le deuxième cas, on ajoutera de la même manière une solution d'EDTA (éthylènediaminetétracétique) dont le rôle est de complexer Cu²⁺ et/ou Ag⁺.

3.1.4 Analyses ne pouvant être effectuées au laboratoire

Certaines déterminations ne peuvent être faites qu'au moment du prélèvement. Ce sont la température, les gaz dissous (gaz carbonique, oxygène), le dosage du fer ferreux, la séparation des formes insolubles...

3.2 Délais d'analyses

Une fois abordé le problème du prélèvement, du flacon, il nous reste à déterminer le délai d'analyse, c'est-à-dire le temps après

lequel le chiffre trouvé à l'analyse risque d'être entaché d'erreur.

Dans le cas des flacons bouchés émeri par exemple, les temps donnés dans le tableau 4 sont ceux obtenus à condition de ne pas ouvrir le flacon entre le prélèvement et l'analyse.

Tableau 4 – Délais et conditions d'analyse de l'eau [10]						
Paramètres	Type d'eau	Ordre de grandeur	Flacons	Conservation conseillée	Durée (1)	Remarques
Équilibre calcocarbonique						
pH	Réseau	7,75	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	Évolution très rapide si le flacon est ouvert
	Eau riche en CO ₂	5,75	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
	Surface	8,00	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
Résistivité	Réseau	1900 Ω.cm	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	Évolution très rapide si le flacon est ouvert
	Eau riche en CO ₂	2200 Ω.cm	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
	Surface	2300 Ω.cm	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
[CO ₂]	Réseau	6 mg/l			in situ	
	Eau agressive	25 mg/l			in situ	
Titres alcalimétriques						
TA-TAC (2)	Réseau	19°	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	Évolution très rapide si le flacon est ouvert
	Eau agressive	2°	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
	Surface	19°	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
Titres hydrotimétriques						
TH (2)	Eau agressive	26°	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	Évolution très rapide si le flacon est ouvert
	Réseau	24°	Bouché émeri	4 °C, obscurité	12 sem.	
Sulfates et halogènes						
Sulfates	Réseau	50 mg/l	Indifférent	4 °C	24 h à 1 sem.	Rôle important des bactéries sulfatoréductrices
	Eau riche	1000 mg/l	Indifférent	4 °C		
Chlorure	Réseau	25 mg/l	Indifférent		12 sem.	
	Effluent urbain	80 mg/l	Indifférent		12 sem.	
Fluorure	Surface	0,1 mg/l	Polyéthylène	Flacon plastique	12 sem.	
	Forage	4 mg/l	Polyéthylène	Flacon plastique	12 sem.	
Iodure	Réseau	0,01 mg/l	Indifférent		12 sem.	
Bromure	Réseau	0,02 mg/l	Indifférent		12 sem.	
Métaux alcalins et alcalinoterreux						
Lithium	Surface	0,2 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
Sodium	Surface	10 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
Potassium	Surface	3 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
Calcium	Surface	100 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
		50 mg/l				
Magnésium	Surface	3 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
		10 mg/l				
Strontium	Surface	0,2 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
Baryum	Surface	0,5 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (5 ml/l)	12 sem.	
		1 mg/l				
Traces d'éléments minéraux						
Fer	Surface	0,5 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	Séparation soluble-insoluble par filtration in situ

Tableau 4 – Délais et conditions d'analyse de l'eau [10] (suite)

Paramètres	Type d'eau	Ordre de grandeur	Flacons	Conservation conseillée	Durée (1)	Remarques
Traces d'éléments minéraux (suite)						
Chrome	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	Séparation soluble – insoluble par filtration in situ
Manganèse	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Cobalt	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Nickel	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Cuivre	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Zinc	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Cadmium	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Mercure	Surface	0,001 mg/l	Pyrex ou verre	HNO ₃ (pH < 2)	8 sem.	
Étain	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	8 sem.	
Plomb	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	8 sem.	
Argent	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	24 h	
Aluminium	Surface	0,5 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	8 sem.	
Bore	Surface	0,2 mg/l	Plastique ou verre	Indifférent	8 sem.	
Arsenic	Surface	0,05 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	12 sem.	
Sélénium	Surface	0,05 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	4 sem.	
Titane	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	8 sem.	
Vanadium	Surface	0,1 mg/l	Indifférent	HNO ₃ (pH < 2)	8 sem.	
Paramètres de pollution						
Oxygène	Surface	10 mg/l	Verre bouché émeri	Winkler 4 °C, obscurité	2 sem.	
Sulfures	Puits	35 mg/l	Verre bouché émeri	Acétate de zinc NaOH (pH 12) 4 °C, obscurité	12 sem.	
Ammoniaque	Surface	1,25 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	3 sem.	
	Effluent	20 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	2 sem.	
	Effluent (2)	100 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
Nitrite	Surface	0,1 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	18 h	
	Effluent	0,8 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	24 h	
	Effluent (2)	1 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	24 h	
Nitrates	Surface	4,5 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	8 sem.	
	Surface	2 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	2 sem.	
	Effluent (2)	2 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
Azote Kjeldahl	Surface	1 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité	3 sem.	
	Surface	1 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	12 sem.	
	Effluent (2)	11 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
Phosphate (ortho)	Surface	1 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	12 sem.	
	Surface	0,6 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
	Effluent (2)	200 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	

Tableau 4 – Délais et conditions d'analyse de l'eau [10] (suite)

Paramètres	Type d'eau	Ordre de grandeur	Flacons	Conservation conseillée	Durée (1)	Remarques
Paramètres de pollution (suite)						
Polyphosphates	Réseau	3 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	4 sem.	
	Surface	3 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
	Effluent (2)	25 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
Phosphore total	Effluent (2)	200 mg/l	Indifférent	4 °C, obscurité H ₂ SO ₄ (pH 2)	1 sem.	
Micropolluants organiques						
Phénol	Surface	0,25 mg/l	Verre ou polyéthylène	4 °C, obscurité H ₃ PO ₄ (pH 2)	2 sem.	
		1 mg/l	Verre ou polyéthylène	4 °C, obscurité H ₃ PO ₄ (pH 2)	4 sem.	
Cyanure	Surface	0,1 mg/l	Verre ou polyéthylène	4 °C, obscurité (pH . 10)	8 sem.	
		0,6 mg/l	Verre ou polyéthylène	4 °C, obscurité (pH . 10)	8 sem.	
Hydrocarbures (indice CH ₂)	Surface	0,1 mg/l	Verre	4 °C	30 h	
		0,5 mg/l	Verre	4 °C	30 h	
		0,1 mg/l	Verre	4 °C, H ₂ SO ₄ (pH 2)	48 h	
		0,5 mg/l	Verre	4 °C, H ₂ SO ₄ (pH 2)	48 h	
Détergents anioniques	Surface	0,3 mg/l	Verre ou polyéthylène	4 °C, obscurité (pH 2)	1 sem.	
		1 mg/l	Verre ou polyéthylène	4 °C, obscurité (pH 2)	4 sem.	
Pesticides :						
Aldrine	Réseau	0,0003 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	1 sem.	
Lindane	Réseau	0,001 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	4 sem.	
DDT	Surface	0,001 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	48 h	
Plastifiants :						
Phtalates	Surface	0,001 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	48 h	
PCB	Surface	0,01 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	48 h	
SEC (substances extractibles au chloroforme)	Surface	0,5 mg/l	Verre	4 °C, obscurité	24 h	
Bactériologie						
Coliformes totaux	Surface	9300 à 150 000 pour 100 ml	Polyéthylène ou verre	4 °C, obscurité	, 24 h	
Coliformes fécaux	Surface	2300 à 110 000 pour 100 ml	Polyéthylène ou verre	4 °C, obscurité	, 24 h	
Straptocoques fécaux	Surface	910 à 46 000 pour 100 ml	Polyéthylène ou verre	4 °C, obscurité	, 24 h	
(1) Sem = semaine						
(2) Les titres alcalimétrique et hydrotimétrique sont donnés en ° français : 1° français = 10 mg/l de CaCO ₃ éq. = 0,2 méq.						
(3) Effluent de laiterie						

Dans cette méthode, nous avons pris en compte 3 températures (- 20 °C, 4 °C et 20 °C), la luminosité (lumière ou obscurité), le type d'eau (minéralisation, pollution) et enfin la concentration de l'élément à doser.

Les résultats sont les suivants :

— **équilibre calcocarbonique** : nous pouvons dire que les délais donnés sont ceux obtenus pour un flacon hermétiquement bouché. Dès l'ouverture du flacon, l'évolution se fait dans les 48 h ;

— **sulfates et halogènes** : les halogènes sont très facilement conservés. Dans le cas des sulfates, une attention toute particulière sera portée aux bactéries sulfatoréductrices ;

— **métaux alcalins et alcalinoterreux** : les alcalins sont très facilement conservés, même en milieu non acide. Dans le cas des alcalinoterreux, une alcalinisation de l'eau peut conduire à des variations (algues). Il est donc indispensable d'acidifier les échantillons, sinon les analyses doivent être effectuées dans les 48 h. L'acidification de l'eau en présence de matières en suspension peut conduire à une augmentation du calcium (dissolution de CaCO_3 précipité) ;

— **traces d'éléments minéraux** : l'acidification est indispensable quels que soit les éléments à doser ;

— **paramètres de pollution** : la conservation à 4 °C donne un bon effet bactériostatique et, suivant les éléments, on adaptera le mode de conservation. Il faut signaler que plus un échantillon est pollué, plus les délais d'analyse sont courts ;

— **micropolluants organiques** : là aussi, la température à 4 °C a été retenue. Dans certains cas, on pourra utiliser des flacons en verre et des flacons plastiques. Pour chaque type de flacon, nous avons effectué deux essais et sur chaque essai nous avons effectué trois déterminations.

— **bactériologie** : les analyses ont porté sur les coliformes totaux, fécaux et les streptocoques fécaux. Les essais ont été faits à 4 et 20 °C à la lumière, à 20 °C à l'obscurité avec des flacons en verre et des flacons plastiques. Pour chaque type de flacon, nous avons effectué deux essais et sur chaque essai nous avons effectué trois déterminations.

4. Méthodes d'analyses utilisables pour le contrôle des eaux

La plupart de ces analyses sont normalisées par l'AFNOR et sont regroupées dans le recueil des Normes Françaises : Eaux – Méthodes d'analyses. Actuellement, ces méthodes sont plutôt définies par le CEN (Comité Européen de Normalisation) et s'imposent de fait en France au niveau de l'AFNOR.

Les techniques analytiques mises en jeu sont :

- pHmétrie ;
- conductimétrie, ionométrie ;
- absorption UV-visible ;
- absorption infra-rouge ;
- absorption atomique à flamme et sans flamme ;
- spectrométrie d'émission de plasma ;
- polarographie ;
- chromatographie en phase gazeuse ;
- chromatographie liquide haute performance ;
- chromatographie ionique.

L'analyse de l'eau nécessite la connaissance de toutes ces techniques et il est illusoire de vouloir toutes les décrire. Il est donc indispensable de se reporter aux articles spécialisés du traité Analyse chimique et Caractérisation.

5. Conclusion

Le contrôle de l'eau n'est basé que sur un calcul de risque. Cela déterminera donc la fréquence des analyses : les analyses bactériologiques seront effectuées plus fréquemment.

Dans le cas des zones tempérées à haut niveau de vie, il a été assez facile d'établir des normes. Il faut contrôler toutes les entrées d'eau dans le réseau de distribution et l'intervalle entre deux prélèvements est déterminé par le nombre d'habitants desservis [11].

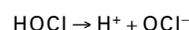
Nombre d'habitants desservis	Fréquence des prélèvements
< 20 000	1 mois
20 000 à 50 000	2 semaines
50 000 à 100 000	4 jours
> 100 000	1 jour

Dans les pays en voie de développement, nous devons prendre en compte d'autres paramètres. Bien sûr, le nombre d'habitants est primordial car les risques d'épidémies sont plus grands et l'ampleur des épidémies dépend du nombre d'habitants desservis. Dans une ville, le risque d'épidémie est plus important que dans un petit village. De plus, les phénomènes d'immunité sont plus importants dans un petit village [1].

Le nombre de contrôles dépend aussi du lieu géographique. Par exemple, les contrôles bactériologiques devront être beaucoup plus rapprochés dans un village du Bangladesh en zone de choléra que dans un village de Tanzanie.

On peut ajouter d'autres éléments permettant de mieux connaître ou de cerner les problèmes microbiologiques : pH, turbidité, formes de l'azote, oxydabilité, oxygène dissous, teneur en agent bactéricide.

■ **pH** : l'effet désinfectant du chlore est dû essentiellement à HOCl et peu à OCl^- . Dans ce cas la proportion de HOCl (chlore actif libre) est très importante. La proportion de HOCl est régie par la réaction :



et ne dépend que du pH de l'eau. À pH 7,5, la proportion HOCl – OCl^- est de 50 % pour chaque forme. À pH supérieur, nous avons prédominance de OCl^- .

■ **Turbidité** : nous insistons encore une fois sur ce paramètre qui permet lorsque cette dernière est la plus faible possible, d'être sûr de ne pas avoir de microorganismes ou de parasites. Les normes OMS sont, à notre avis, trop tolérantes.

■ **Différentes formes de l'azote** : NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- : par sa présence l'ion ammonium peut diminuer l'effet du chlore par formation de chloramines. La présence de nitrites peut être due à une mauvaise oxydation biologique de l'ion ammonium ou à une réaction des nitrates, ce phénomène s'observe dans les réseaux. Une apparition importante d'ions ammonium peut être une cause de suspicion de pollution fécale.

■ **Oxydabilité au permanganate de potassium** : si cette détermination est effectuée en milieu alcalin, nous prenons en compte les matières organiques azotées. C'est une bonne indication de pollution fécale éventuelle. L'oxydabilité au permanganate de potassium ne devrait pas dépasser 2 mg/l, sauf quand celle-ci est essentiellement dues à des acides humiques ou des végétaux. Le thé a une oxydabilité de 2 000 mg/l. En milieu acide, les valeurs sont plus élevées, les eaux ne doivent pas avoir plus de 5 mg/l, mais, dans ce cas, la spécificité vis-à-vis des composés aminés est bien trop grande.

■ **Teneur en oxygène** : un manque d'oxygène peut être le signe de la présence de matières réductrices, notamment de matières organiques.

■ **Teneur en agents bactéricide et bactériostatique** : elle permet de signaler très rapidement un défaut de traitement.

Dans le cadre du contrôle des risques à moyen terme ou à long terme, la fréquence des analyses sera plus faible. Par contre, il est indispensable de connaître toutes les étapes suivies par l'échantillon d'eau, du prélèvement au calcul du résultat. Sans cette connaissance, aucune conclusion ne peut être tirée d'une analyse.

Il faut cependant rappeler la législation en vigueur en France concernant l'eau destinée à la population. L'article 14 du décret 89.3 du 3 janvier 1989 précise bien que l'exploitant doit connaître en permanence la qualité de l'eau. Il doit donc adapter la fréquence d'analyse à la variation du paramètre.

Le rôle de l'autorité sanitaire est de s'assurer que l'exploitant produit une eau de qualité. Les contrôles dans ce cas varient avec le risque donc avec le nombre d'habitants. Ces deux approches sont complémentaires, l'une ne peut se substituer à l'autre.

Références bibliographiques

- [1] BRADLEY (D.J.). – *Health aspects of water supply in tropical countries*, dans : FEACHEM (R.), McGARRY (M.) et MARA (D.D.). – *Water, wastes and health in hot climates*, p. 3-9 1977 Wiley.
- [2] DODIN (M.A.). – *Protection du milieu naturel, les critères de risques*. Journées de Recherche Eau et Environnement, Limoges octobre 1979. Documentation française Paris.
- [3] GELEPERIN (A.), MOSES (V.J.) et FOX (G.). – III. *Med. J. (USA)* 149 1976 p. 251.
- [4] HAWKORTH (G.M.), HILL (M.J.), GORDILLO (G.) et CUELLO (C.). – *N. Nitroso compounds in the environment*. Proceedings of

the Working Conference held at the International Agency for Research on Cancer Lyon 17-20 octobre 1973. IRAC Publication Scientifique n° 9 1975 p. 229.

- [5] HUGUES (J.M.), MERSON (M.H.), CRAUN (G.F.) et McCABE (L.J.). – *J. Infect. Dis. (USA)* 132 1975 p. 332.
- [6] KRONBORG (J.J.) et WALL (A.J.). – *Diagnosis and management of acute diarrhea in adults*. *Aust. Fam. Phys. (AUS)* 7 1978 p. 1 453-60.
- [7] SNOW (J.). – *On the mode of communication of cholera*. 2nd ed. London 1855 5. Churchill.
- [8] Conférence de Stockholm 1972, dans *Evaluation of the microbiology standard for drinking water*. EPA 570/9.7800 c. us

Environmental Protection Agency, Washington DC 20460.

- [9] *Utilisation de Bifidobacterium*, dans [8].
- [10] MONTIEL (A.), CARRÉ (J.), DEVOUCOUX (J.) et BOUSQUET (G.). – *Conservation des échantillons*. TSM L'eau 1981 76 p. 285-90.
- [11] Anonyme. *Décret 89.3 du 3 janvier 1989 et modificatifs relatifs aux eaux destinées à la consommation humaine*. Ministère de la Santé.
- [12] Anonyme. *Proposition de directive pour les eaux destinées à la consommation humaine*. J.O Union Européenne 30 mai 1995.
- [13] Anonyme. *Directive pour les eaux de boisson*. OMS Vol. 1 1994, Vol. 2 1996.