

La désinfection des eaux par le chlore

Antoine Montiel* *docteur ès sciences*

Les effets sur la santé, du fait de la pollution des eaux destinées à la consommation humaine, peuvent être classés en trois catégories :

- Le risque à court terme ne dépend parfois que de la consommation d'un seul verre d'eau (risque essentiellement microbiologique).
- Le risque à moyen terme nécessite la consommation d'eau pendant des semaines ou des mois (c'est le cas des nitrates ou du fluor par exemple).
- Le risque à long terme s'évalue en fonction de la consommation d'eau pendant toute une vie (c'est le cas de la plupart des produits cancérigènes comme le benzo pyrène).

La nécessité de délivrer une eau saine, sans risque pour la santé entraîne donc des obligations de la part des autorités locales responsables de collectivités humaines. La garantie microbiologique de l'eau, qui concerne le risque à court terme, est la première et la plus importante de ces obligations.

L'utilisation d'une ressource naturellement bien protégée est recommandée mais ce n'est pas toujours possible. Dans ce cas, une désinfection fiable est le traitement indispensable de toute eau pouvant présenter un risque de contamination

microbiologique. Le chlore sous ses différentes formes est aujourd'hui le réactif le plus utilisé pour la désinfection de l'eau.

Mais, dans tous les cas, une politique de préservation de la qualité de la ressource demeure indispensable. Parfois, il pourra être souhaitable de faire subir à l'eau des traitements préalables afin de s'assurer que la désinfection pourra être efficace.

La chloration de l'eau a pu être mise en cause et considérée comme à l'origine de molécules dites organochlorées. Le problème de formation des produits «secondaires» n'est pas imputable au chlore mais à la présence concomitante de matières organiques. Il ne faut donc pas supprimer le chlore comme désinfectant, mais au contraire savoir mieux traiter l'eau avant la chloration. En tout état de cause, la protection du risque à court terme doit toujours être privilégiée.

Devoir de désinfection. Historique

Les autorités locales chargées de la distribution de l'eau ont la responsabilité de mettre à la disposition des populations une eau sans risque pour la santé.

Alors qu'un homme peut rester 15 jours sans manger, il ne peut pas rester plus de 48 heures sans boire. C'est dire l'importance de l'eau dans notre alimentation. Elle ne doit donc pas faire courir de risque pour la santé.

Pourtant, ces risques sont multiples et leur prise en compte fait partie de la responsabilité des élus.

Boire un seul verre d'eau, d'une qualité douteuse, est le premier des risques. C'est essentiellement un risque microbiologique. C'est le risque à court

terme. La protection contre ce risque doit être garantie 24 heures sur 24, 365 jours dans l'année. Les autres risques à moyen et long terme sont liés à la consommation régulière et continue durant des semaines, des mois, voire des années d'une eau chimiquement contaminée. Ces risques doivent bien sûr être pris en compte mais, en aucun cas, au détriment de la protection contre le risque à court terme.

En effet, aujourd'hui, plus de 200 millions de personnes sont encore atteintes de maladies hydriques d'origine microbiologique.

Si la disponibilité d'une ressource naturellement protégée n'est pas possible, l'opération qui consiste à se garantir contre le risque microbiologique immédiat est la désinfection. C'est donc le traitement prioritaire et indispensable dès que la qualité microbiologique de l'eau peut être suspectée.

La désinfection de l'eau peut être obtenue par différents moyens : physiques (ébullition : il faut compter une ébullition de 10 à 15 min pour avoir une désinfection de l'eau garantie ; rayonnements ultraviolets : dans ce cas, la qualité physico-chimique de l'eau à traiter peut influencer beaucoup le résultat de la désinfection), chimiques (c'est le couple concentration en réactif chimique biocide et temps de contact eau-biocide qui joue un rôle essentiel sans pour autant négliger la qualité physico-chimique de l'eau à traiter). Les réactifs chimiques les plus couramment utilisés sont, par ordre décroissant d'usage : le chlore, l'ozone, le bioxyde de chlore.

Le chlore sous forme de chlore gazeux ou d'hypochlorite de sodium ou de calcium est de loin le plus utilisé et le plus ancien.

* Sagep, Eau de Paris, 9, rue Schoelcher
75014 Paris. Tél. : (1) 40.48.99.20.
Fax : (1) 43.22.24.22.

A l'origine, son utilisation a été basée sur l'idée d'une relation entre maladie hydrique et mauvaise odeur de l'eau (odeur «septique»). Bien qu'antérieur à la découverte des bactéries responsables de la contamination de l'eau, ce traitement de désodorisation par le chlore s'est révélé être très efficace : ceci a contribué à maintenir l'erreur qui consistait à croire que les maladies avaient pour origine l'odeur. Les premières normes de potabilité de l'eau en ont découlé : l'eau doit être sans odeur, sans saveur, sans couleur et limpide.

Ce n'est qu'après 1880 avec les travaux des bactériologistes, tels Pasteur et Escherich, que l'on a découvert l'origine microbiologique des maladies hydriques et expliqué l'action bactéricide du chlore.

C'est grâce à la généralisation de la chloration des eaux qu'en Europe ont disparu les grosses épidémies de fièvre typhoïde et de choléra.

Comme désinfectant, le chlore demeure toujours le garant d'une bonne qualité d'eau.

Effet sur la santé

- Les maladies infectieuses causées par des bactéries, des virus, des protozoaires ou des parasites constituent le principal risque pour la santé lié à la pollution de l'eau de boisson.

Les maladies infectieuses sont transmises principalement par les excréta humains et animaux, notamment les fèces. S'il existe des malades ou des porteurs de germes pathogènes dans la communauté, la contamination fécale de la source d'approvisionnement entraînera la présence des micro-organismes pathogènes dans l'eau. La consommation de cette eau ou son utilisation pour la préparation des aliments ou la toilette et même son inhalation sous forme d'aérosols peut provoquer une infection.

- L'eau destinée à la consommation humaine, à la préparation des aliments ou à l'hygiène personnelle ne doit contenir aucun agent pathogène pour l'homme.

Si de nombreux pathogènes peuvent être détectés par des méthodes appropriées, elles sont longues et difficiles à mettre en œuvre et ne sont pas disponibles dans tous les laboratoires. De plus, leur temps de réponse peut être très long

car leur principe repose sur la multiplication des germes. La recherche de micro-organismes simples indicateurs de pollution fécale reste la méthode la plus sensible et la plus spécifique pour évaluer la qualité microbiologique d'une eau. Ces «traceurs de contamination fécale» sont des germes habituellement retrouvés dans les matières fécales et ils servent d'indicateurs des autres germes.

Ces indicateurs de pollution fécale doivent répondre à certains critères. Mais, pour donner des résultats utiles, ils doivent d'abord être présents en très grand nombre dans les matières fécales, ensuite être facilement détectables par des méthodes simples et rapides. Ils ne doivent pas se multiplier dans l'eau et être aussi ou plus résistants que les pathogènes (survie dans l'eau ou résistance aux différents traitements de désinfection).

Les principaux organismes indicateurs de pollution fécale sont : les bactéries coliformes thermotolérantes (*Escherichia coli*), les streptocoques fécaux.

D'autres groupes de bactéries sont utilisables comme indicateurs d'efficacité insuffisante de traitement (physico-chimique ou de rétention physique) : les coliformes totaux, les streptocoques fécaux et les clostridium sulfito-réducteurs.

Au cours des années, le chlore, agent bactéricide et virucide, a été utilisé pour d'autres usages : élimination de certaines substances minérales (ammonium, fer, manganèse, sulfures...). Dans ce cas, l'ajout de chlore se fait avant tout traitement préalable sur des eaux riches en matières en suspension et en matières organiques à des doses importantes conduisant à des réactions secondaires. Il faut par exemple entre 7 et 10 mg de chlore par mg d'ions ammonium à éliminer.

Dès 1974, ces réactions ont été mises en évidence, particulièrement avec les matières organiques naturelles des eaux tels que les acides humiques et les acides fulviques.

La conséquence de ces réactions est la production de molécules organochlorées diverses dont les plus simples sont : les trihalométhanes (chloroforme...), les composés chlorés de l'acide acétique et de l'acétonitrile. Les quantités totales formées peuvent être de quelques centaines de microgrammes par litre. Au laboratoire, certaines de ces substances

se sont révélées être cancérigènes pour des animaux.

En ce qui concerne les sous-produits de la chloration, Les études montrent de très faibles associations statistiques avec les cancers de l'estomac, du gros intestin, du rectum ou plus récemment du pancréas.

L'Agence Internationale de la Recherche sur le Cancer (AIRC) a évalué toutes ces études et a conclu qu'il n'était pas possible d'affirmer que la consommation d'eau de boisson chlorée pouvait induire des cancers chez l'homme.

Après la découverte de ces molécules, certains pays ont adapté leur législation pour prendre en compte au niveau des risques à long terme ces molécules formées par le traitement.

Dans certains cas, cela a conduit au remplacement du chlore par d'autres désinfectants chimiques : le bioxyde de chlore, l'ozone. Les recherches plus récentes ont montré que ces réactifs peuvent aussi conduire à des réactions secondaires. Le bioxyde de chlore peut conduire à la formation de chlorites et chlorate, l'ozone à la formation de formaldéhyde, acétaldéhyde, bromates s'il y a présence de bromures. Ces molécules ont aussi été prises en compte dans la nouvelle directive de l'Organisation Mondiale de la Santé «Directive de qualité pour l'eau de boisson, 2e édition, vol.1, 1994».

La conclusion de toutes les recherches effectuées sur ces réactions secondaires dues aux réactifs de désinfection chimique est que la désinfection de l'eau est un traitement à ne pas réduire. Le problème des réactions secondaires n'est pas dû au réactif oxydant mais au fait que le réactif est ajouté à une eau contenant des matières organiques pouvant réagir. Toutes les recherches portent donc soit sur un meilleur traitement préalable de l'eau permettant de mieux éliminer les matières organiques, soit sur le choix d'une ressource de meilleure qualité.

La recherche des ressources naturellement protégées devra toujours être préférée à l'exploitation de nappes ou d'eaux de surface douteuses ou vulnérables dont la qualité risque de nécessiter l'application de traitements complexes.

De même, dans certains cas, le chlore ne doit pas être utilisé pour parer à la carence de protection contre la pollution de l'eau. Des mesures préventives doivent être mises en place.

Aspects techniques

Pour pouvoir distribuer une eau de boisson saine, il faut soit disposer d'une source d'eau souterraine de très bonne qualité, bien protégée, soit lui faire subir une série de traitements appropriés complémentaires les uns des autres, capables de réduire la concentration de pathogènes et d'autres polluants à un niveau ne présentant aucun risque pour la santé.

Les systèmes de traitement doivent opposer des barrières multiples à la transmission de l'infection. Les traitements précédant la désinfection finale doivent déjà être capables de produire une eau de bonne qualité microbiologique, la désinfection finale ne doit constituer qu'une dernière barrière de sécurité et en aucun cas être utilisée comme suffisante et de par ce fait faire baisser la vigilance contre la protection de l'eau vis-à-vis des pollutions extérieures.

L'efficacité de la désinfection est maximale lorsqu'une eau a déjà été traitée de façon à éliminer toute turbidité¹, et plus particulièrement toute substance pouvant réagir et «consommer» le chlore. Si ces traitements préalables ne sont pas ou ne peuvent pas être mis en place ou sont mis en défaut à un instant donné, un surdosage de réactif permet d'atteindre l'objectif de la désinfection.

La désinfection n'est donc qu'une étape de traitement, mais la plus importante. Elle ne pourra être utilisée seule que sur des eaux souterraines claires et bien filtrées par le sol. Après traitement

et avant sa consommation, l'eau doit être protégée contre toute pollution. Une éducation sanitaire est donc indispensable. Si économiquement aucun traitement préalable ne peut être mis en place, l'amélioration de cette étape unique et indispensable de désinfection sera obtenue par un surtraitement au chlore. Mais certains organismes peuvent être résistants : les parasites notamment.

La quantité de chlore à ajouter à l'eau pour la désinfection dépend :

- du type et du nombre de germes à détruire. La désinfection bien menée réduit les germes de plus de 99,9 %,
 - de la température de l'eau,
 - du temps de contact,
- Enfin, certains éléments présents dans l'eau perturbent la désinfection. L'ammonium peut ainsi réduire considérablement l'effet bactéricide du chlore ajouté. La présence de particules argileuses protège les micro-organismes de l'action désinfectante du chlore.

Ces deux éléments peuvent être apportés si l'eau est stockée sans protection avant consommation.

Les paramètres de la consommation en chlore de l'eau sont à définir au cas par cas. Comme le nombre et le type de germes jouent un rôle primordial, le choix et la protection des eaux souterraines (périmètres de protection), le traitement préalable des eaux de surface ou karstiques² sont déterminants (figure 1).

Attention, la contamination microbiologique de l'eau peut aussi avoir lieu entre le point de désinfection de l'eau et l'abonné durant sa distribution ou son

stockage à domicile. En cas de coupure d'eau, de l'eau souillée peut s'introduire dans les canalisations. Comme il est impossible de travailler dans des conditions d'asepsie totale, il faut prévoir, en fin de travaux effectués sur le réseau, un nettoyage et une désinfection des ouvrages.

Dans un immeuble, des phénomènes de siphonnage peuvent avoir lieu en cas de coupure ou de baisse de pression d'eau. Afin d'éviter une contamination, le réseau public peut être protégé par des clapets antiretour, voire des disconnecteurs (pour les sites à risque). Cette protection est aussi valable pour le risque chimique.

Pour le stockage à domicile, une sensibilisation à ces risques devra être effectuée. La présence de chlore résiduel ne permet pas une protection absolue.

Aspects réglementaires et normatifs

Plusieurs aspects sont à prendre en compte :

- les paramètres nécessaires à l'obtention d'une bonne désinfection comme indiqués ci-dessus,
- les paramètres permettant de s'assurer d'une bonne désinfection,
- le résiduel de bactéricides,
- les produits secondaires de la désinfection.

Paramètres nécessaires à l'obtention d'une bonne désinfection

Quel que soit le procédé de désinfection utilisé, l'eau doit être auparavant purifiée et protégée après traitement car tous les désinfectants sont plus ou moins neutralisés par les matières organiques et les composés facilement oxydables. Les micro-organismes agglomérés ou adsorbés sur les particules en suspension sont également, en partie protégés. Il est donc capital que le traitement précédant la désinfection finale produise une eau dont la turbidité médiane n'excède pas 1 NTU et qu'en aucun cas un échantillon ne dépasse 5 NTU³.

Lorsque l'on veut retenir des micro-organismes qui résistent au chlore tels *giardia*, *cryptosporidium*, ver de Guinée, il est indispensable que la turbidité soit $\leq 0,3$ NTU.

Si la turbidité de l'eau est $\leq 0,3$ NTU, 0,5 mg/l de chlore résiduel après 30 min

Figure 1 - Exemple de la consommation en chlore de l'eau : AB correspond à la consommation en chlore des composés réducteurs (ions ferreux, manganèse, nitrites...). BC correspond à la consommation en chlore des dérivés ammoniacaux et aminés. On compte une consommation d'environ 8 mg de chlore par mg d'ammonium. CD correspond au domaine du chlore libre bactéricide. L'eau n'a plus de demande chimique en chlore. L'effet bactéricide n'est pas perturbé.

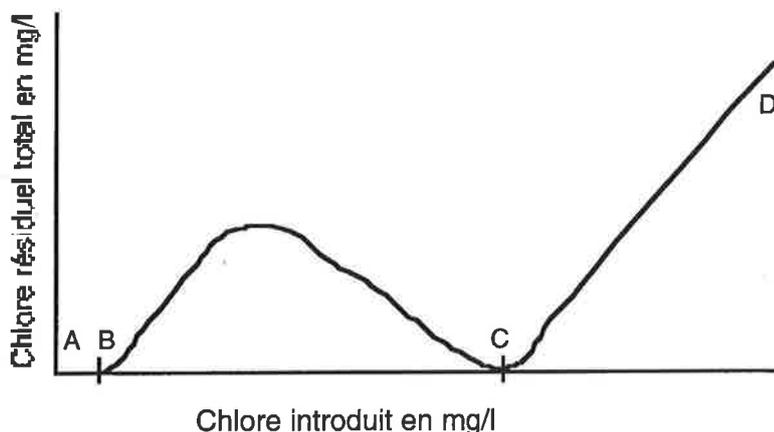


Tableau I - Valeurs de Ct (en mg.mn.l-1) pour obtenir 99 % (2 log) d'inactivation de micro-organismes à 5-25 °C (C = concentration en désinfectant, T= temps de contact).

Micro-organismes	Chlore pH : 6 à 7	Chloramine pH : 8 à 9
E. coli	0,03 - 0,05	95 - 180
Poliovirus 1	1,1 - 2,5	770 - 3470
Rotavirus	0,01 - 0,05	3810 - 6480
Kyste de <i>Giardia lamblia</i>	47 - 150	-
Kystes de <i>Giardia muris</i>	30 - 630	1400
<i>Cryptosporidium</i>	7200	14400

de contact à pH inférieur à 8 permettent une bonne désinfection (99,9 % de réduction des coliformes et des virus).

— Les eaux contenant des ions ammonium donnent, lors du traitement au chlore, des chloramines dont le pouvoir bactéricide est environ 100 fois inférieur à celui du chlore. Dans le cas de la présence de ces ions dans l'eau, il faut être vigilant et augmenter la dose de chlore pour s'assurer de l'efficacité de la désinfection.

Comme l'ammonium n'avait pas d'effet direct sur la santé, l'OMS n'a pas spécifié de limite pour cet ion. Cependant, si l'eau est à un pH > 8,5, le seuil de détection olfactif est de 1,5 mg/l.

— Le pH peut aussi influencer la désinfection des eaux par le chlore. En effet, en solution dans l'eau, le chlore se trouve sous forme d'acide hypochloreux dont l'équation de dissociation est la suivante : $\text{HOCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{ClO}^-$ $pK_a = 7,4$ à 20 °C°. A pH > 7,4, la forme ClO^- prédomine. A pH < 7,4, la forme HOCl prédomine.

Comme la forme ClO^- est bien moins efficace vis-à-vis des micro-organismes que la forme HOCl, une eau à pH basique pH > 8 ne pourra être efficacement désinfectée qu'avec un surdosage de chlore.

Comme la recherche des germes tests nécessite de 24 à 48 heures d'attente, certains pays ont introduit des règles comme le principe du Ct (C = concentration en mg/l de chlore après un temps de contact T exprimé en minutes, et t la température de l'eau). On estime que pour une eau à une température de 15 °C sans trouble (turbidité) et sans ammonium, le Ct

Tableau II - Normes bactériologiques de la qualité de l'eau.

Coliformes thermotolérants	0/100 ml
Coliformes totaux (dans 95% des cas)	0/100 ml
Streptocoques fécaux	0/100 ml
Clostridium sulfito-réducteurs	0/20 ml

devrait être de 15. L'avantage de ce système est de pouvoir, en cas de défaillance, corriger immédiatement le traitement. Ce Ct est bien sûr fonction des germes pris en compte. Le tableau I en donne certaines valeurs.

On peut constater que pour *giardia*, *cryptosporidium*, ce traitement ne permet pas une garantie d'élimination d'où l'intérêt d'un traitement préalable permettant la rétention physique de ces parasites pathogènes.

Paramètres de contrôle permettant de s'assurer d'une bonne désinfection

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir de germes pathogènes (tableau II). Pour s'assurer d'une bonne désinfection, on utilise comme indicateur d'efficacité de traitement la recherche des germes comme précisé dans la directive OMS de 1994 ou les normes françaises qui ont repris les normes européennes.

La nécessité de l'absence de ces germes dans une eau désinfectée fait l'objet d'un consensus mondial. Les traitements de désinfection effectués sur des eaux préalablement bien traitées permettent d'atteindre facilement ces objectifs.

Il a été démontré que, dans presque tous les cas d'épidémies transmises par l'eau, la qualité bactériologique de celle-ci n'était pas satisfaisante : la désinfection finale n'avait pas été effectuée correctement ou avait été effectuée sur une eau préalablement mal traitée (turbidité supérieure à 5 NTU par exemple, ou présence d'ions ammonium).

Le résiduel de bactéricides

Le chlore donne un goût à l'eau. Selon les pays et les habitudes des consommateurs, le «résiduel de chlore toléré» pourra être très différent. En Europe, la plupart des pays limitent ce résiduel à un niveau très bas, de l'ordre de 0,1 mg/l. Aux États-Unis et en Amérique en général, où le goût du chlore est assimilé à la garantie d'une eau de qualité, cette valeur est de 1 mg/l. La concentration maximale admissible sans risque pour la santé de l'homme fixée par l'OMS est de 5 mg/l.

Les produits secondaires de la désinfection

Historiquement, les produits secondaires de la désinfection sont le chloroforme et ses homologues chlorobromés (trihalométhanes : THM).

Pour les caractériser, deux approches sont possibles : soit utiliser le chloroforme ou les THM totaux comme indicateur de la formation de produits secondaires, soit identifier individuellement ces molécules formées. Ces deux approches conditionnent le cadre réglementaire (directive OMS, 1994).

Certains pays ont introduit dans leur législation des normes sur ces produits de désinfection au niveau de la première approche : molécules indicatrices. Les niveaux proposés varient énormément d'un pays à l'autre en fonction de considérations économiques et techniques, voire politiques.

L'Union Européenne en 1980 n'avait pas prévu de réglementation sur ces composés. Il était simplement précisé que le niveau de THM devrait être le plus faible possible. Dans les pays d'Europe, aujourd'hui, les législations existantes varient donc de 25 à 100 µg/l pour les THM totaux.

Position de l'OMS

La désinfection est l'étape prioritaire, indispensable à toute eau contaminée ou risquant de l'être par des micro-organismes pathogènes.

On ne peut en aucun cas à cause d'un risque possible à long terme risquer de créer un risque à court terme.

Une fois posés ces principes de base, l'OMS a proposé en 1994 des valeurs guides pour un nombre assez important de sous-produits de la désinfection. Il faut noter que ce ne sont que des niveaux guides et non des normes (directive OMS, 1994) (tableau III).

Pour certains composés, le niveau guide proposé a été basé sur le risque additionnel d'un cancer pour 100 000 habitants d'une population buvant (2 l par jour) la même eau pendant 70 ans (risque 1×10^{-5}). Pour d'autres molécules, la valeur est calculée en appliquant des facteurs de sécurité à une concentration qui ne donne aucun effet néfaste sur des animaux de laboratoire en considérant la part due à l'eau

Tableau III - Niveau guide de l'OMS concernant les produits secondaires de la désinfection.

Produits secondaires	Valeurs proposées µg/l	Remarques
Bromate ¹	25 (P)	pour un risque 7 x 10 ⁻⁵
Chlorite ²	200 (P)	
2.4.6 Trichlorophénol ³	200	pour un risque 10 ⁻⁵
Formaldéhyde ¹	900	
Bromoforme ³	100	pour un risque 10 ⁻⁵ pour un risque 10 ⁻⁵
Dibromochlorométhane ³	100	
Dibromodichlorométhane ³	60	
Chloroforme ³	200	
Acide dichloroacétique ³	50 (P)	
Acide trichloroacétique ³	100 (P)	
Hydrate de chloral ³	10 (P)	
Dichloroacétonitrile ³	90 (P)	
Dibromoacétonitrile ³	100 (P)	
Trichloroacétonitrile ³	1 (P)	
Chlorure de cyanogène ³	70	exprimé en cyanure

(P) : niveau guide provisoire.

¹ Produit secondaire dû à l'ozonation.

² Produit secondaire dû au bioxyde de chlore.

³ Produit secondaire dû au chlore.

comme étant de 20 % de la dose alimentaire journalière tolérable (DJT).

L'OMS précise encore que le respect de ces niveaux guides ne doit en aucun cas être obtenu au détriment des normes microbiologiques.

Tous ces niveaux guides sont à prendre en compte au niveau du robinet du consommateur.

Conclusion

Délivrer en permanence une eau saine et en quantité suffisante doit être la première priorité des autorités locales.

La recherche des ressources naturellement protégées devra toujours être préférée à l'exploitation de ressources vulnérables nécessitant la mise en œuvre de traitements complexes. La garantie de la qualité microbiologique de l'eau est à assurer quel que soit le lieu dans le monde.

Les rôles relatifs des autorités locales ou nationales dépendent beaucoup du mode d'organisation de la distribution de l'eau dans le pays. En général, les législations sont prises au niveau national. Par contre, l'autorité locale pourra intervenir à différents niveaux.

1) Le choix de la ressource : les eaux souterraines bien protégées sont à préférer aux eaux de surface ou karstiques. Si la quantité disponible d'eau souterraine n'est pas suffisante alors on s'orientera vers les eaux de surface. La bonne qualité et la bonne protection des eaux

souterraines peuvent dans certains cas permettre de se passer de traitement de désinfection.

2) Une fois le choix effectué, la ressource doit être protégée par des périmètres de protection afin de garantir dans le temps la qualité de l'eau. La désinfection peut alors être très bien optimisée.

3) Quand la désinfection de l'eau est indispensable, il faut s'assurer de la fiabilité du traitement mis en place. Le nombre de maladies d'origine hydrique induit par une panne de désinfection ne se compte plus dans le monde.

Il ne faut pas oublier que la confiance dans la qualité de l'eau distribuée est une donnée essentielle car une baisse de confiance peut se traduire par l'utilisation de ressources alternatives : des eaux embouteillées, mais aussi parfois des ressources non surveillées et de qualité microbiologique douteuse qui peuvent conduire à des maladies hydriques.

Pour en savoir plus

WHO Guidelines for drinking-water quality, vol. 1 : Recommendations, WHO Geneva, 1993.

WHO Guidelines for drinking-water quality vol 2 : Health Criteria and Other Supporting Documentation, WHO Geneva, 1994.

WHO Guidelines for drinking-water quality, vol 3 : Surveillance and Control of Community Supplies, WHO Geneva, 1994.

Drinking-water and health, National Academy of science, USA, vol. 1 à 5.

White G.C., Handbook of chlorination, Van Nostrand Ed.

AWWARF, USA, Disinfection by products, Small rural Water Supplies Disinfection, WRC, 1987.

Notes

1 Turbidité : trouble de l'eau dû à la présence de particules colloïdales minérales (argiles) ou organiques (acides humiques...)

2 Eaux karstiques : eaux circulant dans des rivières souterraines qui peuvent ne pas avoir été filtrées par le sol.

3 NTU : unité de turbidité mesurée par la méthode néphélométrique.