

La chloration est encore le procédé de désinfection le plus répandu pour le traitement final de l'eau destinée à la consommation humaine. Avec la mise en évidence assez récente du caractère pathogène de certains micro-organismes, tels que *Légionella pneumophila*, *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, il convient de mieux maîtriser ce procédé pour améliorer son efficacité. Le critère CT (concentration en désinfectant x temps de contact) est un paramètre important qui permet de s'assurer de la réduction et de l'inactivation des micro-organismes pathogènes.

MICRO-ORGANISMES PRÉSENTS DANS L'EAU

BACTÉRIES		VIRUS	PROTOZOAIRES
Staphylocoques	Escherichia Coli	Entérovirus	Giardia *
Streptocoques	Legionella Pneumophila	Hépatites	Cryptosporidium *
Salmonella	Cyanobactéries	Bactériophages	Amibes
			* enkystés ou non

Le tableau 1 récapitule les différentes familles de micro-organismes qu'il est possible de rencontrer dans l'eau, avec leurs représentants les plus courants.

Tableau 1

Ces micro-organismes sont plus ou moins résistants au chlore, ainsi on peut avancer d'une manière générale que :

- les bactéries sont faiblement résistantes ;
- les virus sont résistants ;
- les protozoaires sont très résistants, et en particulier quand ils sont enkystés.

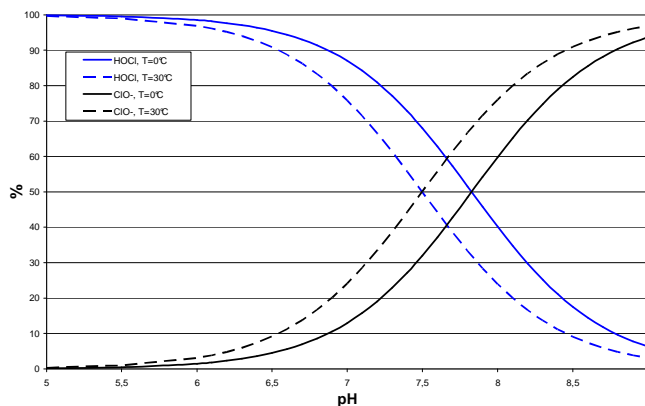
PRINCIPES ACTIFS DU CHLORE

Le chlore (Cl_2) et les produits chlorés (hypochlorite de sodium ou "eau de javel", $NaClO$ – hypochlorite de calcium, $Ca(ClO)_2$), se dissocient immédiatement dans l'eau, en :

- acide hypochloreux, $HOCl$;
- ion hypochlorite, ClO^- .

C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de la désinfection, c'est pourquoi il est aussi appelé "chlore actif".

La proportion des deux composés dépend essentiellement de la valeur du pH et de la température de l'eau, comme l'indique la figure 1.



Pour un effet rapide du chlore et une économie en produits, il convient de traiter l'eau à des valeurs de pH proches de la neutralité. Ainsi on procèdera à la désinfection avant tout traitement de neutralisation, et/ou de reminéralisation, élevant le pH.

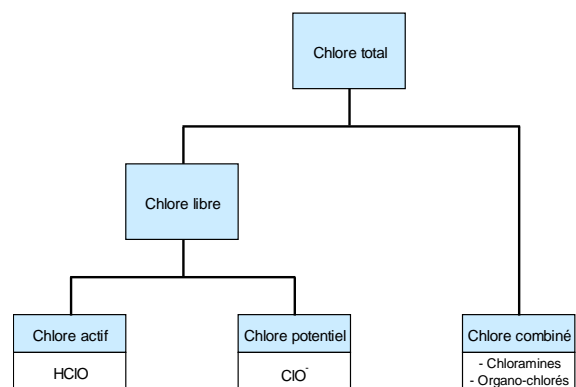


Figure 2

Après action du chlore sur les matières organiques, azotées et autres composés oxydables, il subsiste un résiduel de chlore se présentant sous différentes formes (figure 2).

Pour une bonne surveillance en continu de la désinfection, il convient donc de mesurer le chlore actif, soit directement à l'aide d'une sonde ampérométrique à membrane sélective, soit en mesurant le chlore libre et le pH pour en déduire par calcul le chlore actif, en sachant que la mesure du chlore libre est celle la plus fréquemment employée.

RÉGLEMENTATION

La directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998, et sa transposition en droit français par le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique (voir Memotec n°12), précisent que l'eau, destinée à la consommation humaine "ne doit pas contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes".

Il est impossible, dans le cadre des analyses de routine, de contrôler tous les micro-organismes pathogènes pouvant être présents dans l'eau. C'est pour cette raison qu'il est fait appel à des indicateurs, ou germes tests. Ainsi la réglementation indique que les eaux de distribution ne doivent pas contenir d'*Escherichia coli*, ni d'Entérocoques (ensemble des streptocoques) dans 100 ml.

La recherche de ces indicateurs peut révéler la présence possible de germes pathogènes ou, mieux encore, leur absence.

PARAMÈTRES INFLUENCANT L'EFFICACITÉ DE LA DÉSINFECTION

Il a été précédemment mis en évidence le rapport entre pH et chlore actif. Ainsi, des valeurs élevées de pH entraînent une moindre efficacité du chlore, et donc une augmentation des concentrations nécessaires pour atteindre le degré d'inactivation désiré.

Les étapes de traitement précédant la désinfection ultime de l'eau doivent permettre d'obtenir un abattement de la turbidité la plus importante possible, les virus étant en général fixés aux matières en suspension. De plus, une très bonne filtration permet d'éliminer les kystes, en général très résistants au chlore.

La diminution de la température de l'eau entraîne une baisse de l'efficacité du désinfectant, bien qu'elle augmente légèrement la proportion d' HOCl par rapport à ClO^- , ce qui nécessite d'ajuster les dosages en fonction des variations de la température.

Le temps de contact réel du chlore avec l'eau à traiter est un paramètre important qui oblige à une bonne conception des bassins de contact.

Enfin la concentration nécessaire en chlore dépend de la résistance du germe pathogène que l'on désire éliminer.

CINÉTIQUE DE LA DÉSINFECTION

La cinétique de la réaction entre le désinfectant et les micro-organismes dépend essentiellement du type de micro-organismes considéré et du désinfectant utilisé.

Pour permettre d'évaluer l'efficacité de la désinfection il a été défini le critère CT, avec :

- C = concentration résiduelle en désinfectant (mg/l) ;
- T = temps réel de contact entre le désinfectant et les micro-organismes, exprimé en minutes.

La circulaire du 24 juillet 1989 du Ministère de la Santé précise ce qui suit : "pour que la désinfection au chlore soit efficace, il est nécessaire qu'après une durée de contact de l'ordre de 15 minutes, le chlore libre résiduel soit compris entre 0,2 et 0,5 mg/l, la valeur résiduelle la plus élevée étant réservée aux sources insuffisamment protégées". Cela signifie que le critère CT doit être compris entre 3 et 7,5 mg.min.l⁻¹.

Il est de plus en plus recherché l'élimination des kystes de *Giardia lamblia* et de *Cryptosporidium parvum*, en complément de celle des bactéries et virus. Mais leur élimination par une simple chloration conduit à des valeurs de CT très élevées, et donc à des bassins de contact aux dimensions réhibitives, comme le montre le tableau 2. Les valeurs de CT indiquées proviennent de recommandations de l'USEPA (United States Environmental Protection Agency). Il convient donc de faire subir à l'eau des traitements conduisant à l'abattement nécessaire des kystes de protozoaires, et ceci avant d'effectuer la désinfection. Ainsi la filière clarification-filtration conduit à des abattements de 3 à 4 log (voir Memotec n°4).

CT POUR UN ABATTEMENT DE 3 log DES KYSTES DE GIARDIA LAMBLIA	pH	TEMPÉRATURE °C					
		1	5	10	15	20	25
	6	165	116	87	58	44	29
	7	236	165	124	83	62	41
	8	346	243	182	122	91	61
	9	500	350	265	177	132	88

Tableau 2

BASSINS DE CONTACT

Le résiduel de chlore libre en sortie d'usines ne pouvant être très élevé (0,1 à 0,6 mg/l), afin de limiter les problèmes d'ordre organoleptique ou de corrosion dans les réseaux de distribution, c'est au niveau du volume des bassins de contact que l'on peut agir pour respecter les valeurs choisies pour le critère CT. Les bassins de contact doivent être conçus de façon à se rapprocher du réacteur idéal qui procure le même temps de transit pour toutes les molécules. Pour atteindre cet objectif, l'écoulement dans le bassin de contact doit être du type "flux piston", grâce à l'aménagement de chicanes définissant des canaux parallèles, et dont la longueur développée est de l'ordre de 72 fois la largeur.

CONCLUSION

Bien que la désinfection par chloration soit aisée à mettre en œuvre, ce procédé nécessite néanmoins la maîtrise de nombreux paramètres (pH, température, turbidité, temps de contact, chlore libre résiduel) qui influent sur son efficacité vis-à-vis des micro-organismes. Lorsqu'il est utilisé d'autres procédés de désinfection (ozonation, rayonnement UV – voir Memotec n°s 28 et 29) il sera toujours fait appel à la chloration finale du fait du caractère rémanent du chlore, et ceci afin de protéger l'eau contre toute pollution ultérieure, lors de son transport et de son stockage.

N.B. : Il n'a pas été abordé la désinfection à l'aide du dioxyde de chlore (ClO_2), car il agit directement, et non pas après dissociation, et que sa cinétique de réaction avec les micro-organismes est différente de celle du chlore.