

### PRÉSENCE DES THM DANS L'EAU

Le terme THM, abréviation de TriHaloMéthanes, est communément employé en traitement d'eau destinée à la consommation humaine, pour regrouper les quatre composés organochlorés volatils suivants :

- le chloroforme :  $\text{CHCl}_3$
- le dichlorobromométhane :  $\text{CHBrCl}_2$
- le chlorodibromométhane :  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$
- le bromoforme :  $\text{CHBr}_3$ .

Les THM n'ont été découverts qu'au début des années 70. Ils n'existent pas naturellement dans les eaux, car ils sont formés par action du chlore sur la matière organique présente essentiellement dans les eaux de surface (acides humique et fulvique principalement). On appelle ces composés organiques des « précurseurs ».

La présence des THM dans l'eau dépend donc de la nature et de la quantité de matières organiques dans les eaux brutes. En France, le composé majoritairement rencontré est le chloroforme : sa part représente en général près de 90% de la quantité totale en THM mesurée.

### EFFETS ET NUISANCES

L'absorption du chloroforme se fait par voies respiratoire, orale ou dermique. Les effets de son assimilation sont variés, mais à forts taux, il est suspecté d'être responsable du développement de cancers du foie, et de l'altération des fonctions du foie et de la thyroïde. Le dichlorobromométhane, absorbé via l'appareil digestif, est lui aussi suspecté d'être cancérigène.

Dans le cas du chlorodibromométhane et du bromoforme, les conclusions sur leurs effets possibles et néfastes sur la santé, ne sont pas définitives. Ces deux composés sont pour l'instant considérés comme non cancérigènes pour les humains ; ils sont néanmoins suspectés d'être responsables de lésions au foie pour le premier, et au foie et aux reins pour le second, s'ils sont absorbés via l'appareil digestif.

### RÉGLEMENTATION

Le code de la santé publique reprend les valeurs de la directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998, à savoir que la concentration totale en THM ne doit pas dépasser 100  $\mu\text{g/l}$ . Il n'est pas mentionné de limites particulières pour chaque composé.

Par contre, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a publié des valeurs guides concernant les différents composés :

- 200  $\mu\text{g/l}$  pour le chloroforme ;
- 60  $\mu\text{g/l}$  pour le dichlorobromométhane ;
- 100  $\mu\text{g/l}$  pour le chlorodibromométhane ;
- 100  $\mu\text{g/l}$  pour le bromoforme.

*Remarque : l'OMS précise que la plupart des THM présents dans l'eau sont transférés dans l'air du fait de leur volatilité ; l'exposition au chloroforme, par exemple, provient à part égale de l'eau de boisson, de la nourriture, et de l'air respiré.*

Techniques de prévention et d'Élimination des THM

Pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, il est nécessaire de distinguer la non formation des THM au cours du traitement, d'une part, et l'élimination à proprement parler des THM produits, d'autre part.

Les principaux procédés de traitement utilisés sont :

- pour la réduction de la concentration en précurseurs : adsorption sur charbon actif en poudre (CAP) ou en grains (CAG), préoxydation, coagulation-décantation, filtration membranaire ;
- pour l'élimination des THM : adsorption sur filtre à CAG.

### La réduction de la concentration en précurseurs de THM : des techniques bien maîtrisées

**Adsorption sur charbon actif** : l'idée générale qui préside à la réduction du potentiel de formation des THM étant la réduction de la concentration en matières organiques avant leur oxydation par le chlore servant à la désinfection finale, il est possible d'envisager une filtration sur charbon actif en grains après clarification de l'eau, ou une injection de CAP en tête de filière. Son efficacité dépend essentiellement du temps de contact, ainsi que du pH et de la température de l'eau.

**Préoxydation au dioxyde de chlore ou à l'ozone** : elle permet de réduire de façon très significative le potentiel de formation des THM. En ce qui concerne l'oxydation au dioxyde de chlore, il faut mentionner la compétition qu'il peut y avoir entre la matière organique d'une part, et les ions bromures et ammonium d'autre part. De plus, il a été montré que, en fonction du procédé de fabrication du dioxyde de chlore, cette oxydation peut s'accompagner d'une formation d'ions chlorites ( $\text{ClO}_2^-$ ), à raison de 0 à 70 % du  $\text{ClO}_2^-$  injecté, ce qui est loin d'être négligeable quand on considère la référence de qualité de 0,2 mg  $\text{ClO}_2/\text{l}$  indiquée par la réglementation. Il y a aussi formation d'ions chlorates ( $\text{ClO}_3^-$ ) au sujet desquels des études sont en cours afin de déterminer s'ils sont, oui ou non, cancérigènes.

Pour ce qui est de l'ozone, il peut y avoir compétition entre la matière organique et les bromures (*figure 1*) : en fonction de la nature de la matière organique, les réactions privilégieront la formation ou non de bromoforme. En outre, la présence d'ions bromures peut aussi entraîner la formation de bromates dont la limite de qualité est fixée à 10  $\mu\text{g/l}$  par la réglementation.

De plus, cette préoxydation est soumise à d'autres facteurs comme le pH, en fonction duquel la préozonation favorise ou non la formation de THM par une post-chloration ; ou encore le TAC, car une eau tamponnée par des ions bicarbonates freine la vitesse de décomposition de l'ozone, la dégradation des précurseurs de THM s'en trouvant alors augmentée.

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'effectuer une préchloration (limitation du développement d'algues, élimination de  $\text{NH}_4^+$  avec formation de chloramines, oxydation de  $\text{Fe}^{2+}$ ). Le point d'injection du chlore est alors repoussé le plus loin possible dans la filière, après avoir abaissé au maximum la concentration en matières organiques.

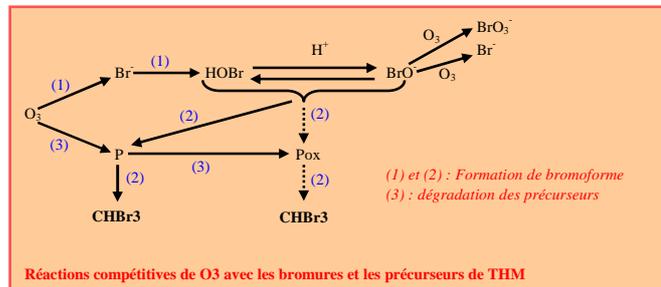


Figure 1

**Clarification** : une des méthodes les plus efficaces pour l'abattement de la matière organique est sans aucun doute le procédé de coagulation-décantation. L'USEPA, l'agence environnementale américaine, préconise d'ailleurs une « enhanced coagulation » à savoir, un surdosage de coagulant afin de maximiser la réduction de la concentration en matières organiques, et donc celle des précurseurs de THM. Ce surdosage doit être réalisé dans une gamme de pH compris entre 4 et 5. De ce fait, il est recommandé d'utiliser un sel de fer plutôt qu'un sel d'aluminium, ce qui permet de limiter la concentration en ions métalliques l'eau traitée. Des essais menés à l'échelle du laboratoire ont montré qu'un surdosage de coagulant réduisait de 48% la formation de THM dans après chloration, alors que le rendement d'une simple coagulation n'était que de 21%.

**Filtration membranaire** : cette technologie s'est montrée on ne peut plus efficace pour l'abattement de la matière organique et donc des précurseurs de THM. Plus particulièrement, la nanofiltration (voir Memotec n°1) permet d'atteindre des taux d'abattement remarquables de plus de 95%. Des essais menés par une équipe japonaise et dont les résultats ont été diffusés en 2000, ont montré des taux proches de 99% avec un prétraitement poussé par ultrafiltration, avant la nanofiltration.

Il est aussi possible d'utiliser un couplage ultrafiltration/CAP qui assure une adsorption plus rapide qu'avec un filtre CAG. De plus, ce couplage est particulièrement adapté aux variations de charge, et il n'y a pas de relargage de polluants étant donné que du CAP neuf est ajouté en continu durant le cycle de filtration.

**Comparaison des procédés** : en terme d'exploitation, il est difficile de préjuger de l'efficacité de l'une ou l'autre des méthodes décrites, car celle-ci dépend largement de la nature de la matière organique : plus ou moins oxydable par l'ozone ou le dioxyde de chlore, plus ou moins adsorbable par le charbon actif, nécessitant une dose de coagulant plus ou moins importante. On peut cependant dégager quelques avantages ou inconvénients de chacune des méthodes utilisées :

- un surdosage de coagulant entraîne une consommation de produits correcteurs du pH et une formation de boues plus importantes ;
- l'utilisation d'un filtre à CAG nécessite un taux relativement faible de matières organiques à l'entrée, sous peine de saturer rapidement le matériau, ainsi qu'une surveillance afin de contrôler la croissance bactérienne au sein des filtres ;
- la préoxydation au dioxyde de chlore ou à l'ozone nécessite la production de ces réactifs in-situ, contrainte qui s'ajoute au coût d'investissement déjà important de ces procédés ;
- le désavantage majeur des techniques membranaires demeure leur coût, surtout dans le cas où l'on n'aurait qu'un seul paramètre à corriger.

**Remarque** : des procédés utilisant des échangeurs d'ions (scavenger) ont été développés pour éliminer spécifiquement la matière organique ; mais ils ne sont pas utilisables en France, dans le cadre du traitement de l'eau destinée à la consommation humaine, car ils n'ont pas reçu d'agrément de la part du Ministère de la Santé.

### L'élimination des THM par adsorption sur CAG : une technique maîtrisée à l'efficacité contrastée

Son efficacité est reconnue dans le cas des THM. Mais celle-ci reste dépendante du composé organochloré : l'adsorption du bromoforme est, par exemple, plus importante que celle du chloroforme qui devient alors le facteur limitant des performances de ce procédé. De plus, les isothermes d'adsorption dépendent des concentrations relatives d'autres composés organiques qui peuvent entrer en compétition avec les THM. D'autres facteurs interviennent dans l'efficacité de l'adsorption : il a été démontré que la présence d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , l'élévation de la température de l'eau et la baisse du pH, augmentent les capacités d'adsorption du CAG.

### CONCLUSION

Les THM représentent un problème de santé publique important et difficile à cerner précisément, car les concentrations dans les eaux sont soumises à des variations dans le temps et dans l'espace. De plus, les résultats des mesures montrent des variations en fonction des méthodes d'analyse.

En outre, les choix techniques doivent prendre en compte, non seulement l'efficacité du procédé concernant les THM ou leurs précurseurs, mais aussi leurs conséquences sur la suite du traitement. Par exemple, l'utilisation de l'ozone sera suivie d'une filtration sur CAG car l'augmentation du CODB (Carbone Organique Dissous Biodégradable) qui suit une ozonation est préjudiciable aux qualités microbiologiques de l'eau distribuée dans les réseaux.

La question des THM est donc délicate à traiter car ils représentent une problématique sanitaire dont l'enjeu est double : la qualité bactériologique de l'eau destinée à la consommation humaine et sa teneur en substances cancérigènes.