

PRÉSENCE DE L'ARSENIC DANS L'EAU

Naturellement, l'arsenic est présent dans l'eau sous deux formes : arséniate (As V) et arsénite (As III), 10 fois plus toxique. La concentration moyenne à laquelle il est dosé est d'environ 0,01 mg/l dans les eaux de surface, mais certaines régions du monde sont plus particulièrement concernées par des contaminations plus importantes : Amériques du Nord et du Sud, Inde, Bangladesh et Thaïlande.

En France, une étude menée par la DASS en 1997 sur les eaux souterraines et de surface, portant sur 2 690 analyses, a mis en évidence des concentrations supérieures à 10 µg/l dans 4,8 % des cas, et supérieures à 50 µg/l dans 1,1 % des cas.

EFFETS ET NUISANCES

L'ingestion d'arsenic peut se faire par l'eau de boisson, ainsi que par l'alimentation : fruits et légumes, poissons et crustacés. La contamination de l'air entraînée dans les cours d'eau lors des précipitations est essentiellement due aux activités industrielles : exploitation minière, traitement du bois de construction.

La toxicité des dérivés de l'arsenic dépend des taux ingérés. L'arsenicisme, effet de l'intoxication sur une longue période de temps (entre 5 et 20 ans) peut se manifester par une dépigmentation de la peau dans les cas les moins graves et par des cancers (peau, vessie, reins ou poumons). En outre, on suspecte l'arsenicisme d'être responsable d'hypertension, d'avoir un impact négatif sur le diabète et sur la reproduction. A des doses élevées, entre 70 et 180 mg·L⁻¹, l'arsenic est mortel.

Une des plus fameuses intoxications a eu lieu en Chine et est connue sous le nom de « la maladie du pied noir ». Cependant, cette maladie des vaisseaux sanguins qui se traduit par une gangrène n'a été observée qu'une seule fois.

RÉGLEMENTATION

La directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 fixe à 10 µg·L⁻¹ la concentration maximale en arsenic admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine. La transposition en droit français, à travers le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique, fixe le même taux en tant que limite de qualité (voir Memotec n°12).

PROCÉDÉS D'ÉLIMINATION DE L'ARSENIC

Les principales méthodes d'élimination de l'arsenic sont :

- la précipitation à la chaux ;
- les techniques membranaires ;
- l'adsorption sur oxy-hydroxyde de fer ;
- l'échange d'ions ;
- la précipitation par les sels de fer ou d'aluminium ;
- la biofiltration.

Remarque : quels que soient les procédés envisagés, l'arsenic (V) est plus facilement éliminé que l'arsenic (III), on procèdera donc en général à une oxydation préliminaire, par injection de chlore, de dioxyde de chlore, ou d'ozone.

La précipitation à la chaux : une technique maîtrisée aux désavantages importants

La chaux hydrolysée se combine avec l'acide carbonique de l'eau pour former du carbonate de calcium ; celui-ci joue le rôle d'agent adsorbant pour l'élimination de l'arsenic. Des essais ont montré que le pH optimal du procédé se situe dans la gamme 10,5 à 12. Un abattement maximum de 80 % a été obtenu au pH de 11,1.

Cependant ce procédé requiert de grandes quantités de chaux (entre 800 et 1200 mg·L⁻¹), ce qui induit une production très importante de boues. De plus, le pH doit être réajusté avant la distribution de l'eau, ce qui ajoute aux coûts du procédé.

L'ÉCHANGE D'IONS : EFFICACITÉ CONTRE COMPÉTITION ENTRE ESPÈCES CHIMIQUES

Ce procédé ne fonctionnant qu'avec des espèces chimiques ionisées, il est totalement inefficace dans le cas de l'arsénite. Les résines spécifiques aux sulfates conviennent parfaitement pour l'élimination de l'arsenic ; on peut aussi utiliser des résines spécifiques aux nitrates, mais le phénomène de fuite (plus de 10 % de la concentration de l'affluent se retrouve en sortie de traitement) se produit plus tôt. Si le procédé est indépendant du pH, il est très sensible à la compétition entre espèces chimiques, surtout avec les sulfates. L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) recommande donc de n'utiliser ce procédé que pour des concentrations en sulfates inférieures à 120 mg·L⁻¹, ou des concentrations en matières dissoutes inférieures à 500 mg·L⁻¹.

Un inconvénient majeur des résines reste leur colmatage par précipitation du fer et du manganèse notamment. Même si la couche qui se dépose adsorbe une partie de l'arsenic, la régénération n'a aucun effet, et toute fuite de fer colloïdal peut entraîner une fuite d'arsenic.

LES TECHNIQUES MEMBRANAIRES : UNE QUESTION DE COÛTS

Les membranes de nanofiltration et d'osmose inverse ont été expérimentées pour l'abattement de l'arsenic. Pour ces deux types de membranes, des taux de rejet de l'arsenic de 96 à 99 % ont été obtenus. Certaines études ont montré que la nanofiltration (voir Memotec n°1) se montrait tout aussi efficace que l'osmose inverse, avec des contraintes d'exploitation moindres en terme énergétique (pression de fonctionnement plus faible).

Cependant, l'efficacité de ces procédés n'efface pas la nécessité d'avoir une eau d'alimentation de bonne qualité pour éviter l'entartrage et le colmatage rapide des membranes. Parmi les autres inconvénients des membranes, on peut citer :

- l'importance des rejets : 10 à 25 % par rapport au débit d'alimentation ;

- les pressions de fonctionnement : jusqu'à 28 bar pour l'osmose inverse ;
- une déminéralisation importante nécessitant une remise à l'équilibre et une reminéralisation ;
- les coûts élevés d'investissements et d'exploitation.

Ces techniques sont donc essentiellement utilisées dans le cas où d'autres problèmes sont à traiter, tels les pesticides ou l'élimination d'autres composés organiques ou minéraux.

LA PRÉCIPITATION PAR LES SELS MÉTALLIQUES : UNE TECHNIQUE EFFICACE ET MAÎTRISÉE

Le sulfate d'alumine, le chlorure ferrique ou le sulfate ferrique, permettent d'obtenir des rendements d'élimination de l'arsenic de 50 à 95 %. Il faut cependant noter que les sels de fer se sont montrés nettement plus efficaces que les sels d'aluminium (95 % d'efficacité contre 50 à 60 %). En outre, il a été démontré que l'ajout de polymères cationiques augmentait le rendement d'élimination.

La précipitation de l'arsenic (V) est principalement contrôlée par le pH et la dose de coagulant. Dans la gamme de pH optimale pour l'utilisation du chlorure ferrique (entre 6,0 et 8,0), l'As (V) est éliminé à plus de 95 %, à raison de 10,86 mg FeCl₃ pur/ mg As à éliminer (ou 26,45 mg FeCl₃ à 40 %/ mg As).

C'est en 1998, à l'usine d'eau potable de Baudricourt (Vosges), qu'a été mis en œuvre pour la première fois en France un traitement spécifique pour l'élimination de l'arsenic. Pour des concentrations initiales d'arsenic variant entre 40 et 70 µg·L⁻¹, des rendements d'élimination proches de 95 % ont été obtenus. Le traitement consiste en une pré oxydation au dioxyde de chlore (0,5 g/m³), et une dose de chlorure ferrique de 5 mg·L⁻¹, sans rectification de pH. La production de boues est de 15 à 20 kg/j.

Une alternative à l'ajout de sels métalliques, consiste en l'utilisation d'un réacteur d'électrolyse comprenant une anode sacrificielle en fer, qui se dissout au cours du temps, pour précipiter l'arsenic. Cette technique permet de s'affranchir de la mise en œuvre de produits chimiques devant être mis en solution, mais elle ne possède pas à ce jour d'agrément pour la potabilisation.

L'adsorption sur oxy-hydroxyde de fer : une technique émergente

L'oxy-hydroxyde de fer est un média capable d'adsorber l'arsenic, sous sa forme d'oxydation V et dans une moindre mesure sous sa forme d'oxydation III. Il n'est donc pas forcément nécessaire de réaliser une pré-oxydation. La mise en œuvre de ce procédé est simple. L'eau percole sur le média dans des filtres ouverts ou fermés. Le média a une capacité d'adsorption très élevée, et est non régénérable. Une fois saturé, le média est envoyé en Centre d'Enfouissement Technique de classe I. L'un des avantages de ce procédé est qu'il ne génère pas de boues, ni aucun effluent chargé en arsenic (les eaux de lavage sont exemptes d'arsenic).

L'efficacité du traitement dépend :

- du pH, lorsque celui-ci est supérieur à 7,5 la capacité d'adsorption du média diminue fortement. Il peut donc être nécessaire d'acidifier l'eau ;
- de la concentration en phosphates, silicates et fluorures.

Si l'eau contient de fortes concentrations en arsenic, il peut être nécessaire de réaliser une coagulation-floculation-décantation, préalablement à la filtration sur oxy-hydroxyde de fer, pour obtenir une concentration finale en arsenic inférieure à 10 µg·L⁻¹.

La biofiltration : une technique en cours d'expérimentation

Cette technique consiste à développer dans un bioréacteur à lit fixé un biofilm formé par des bactéries arsenivores (genre thiomonas).

CONCLUSION

TRAITEMENTS	As ≤ 200 µg/l	200 µg/l < As ≤ 500 à 1 000 µg/l	As > 1 000 µg/l
Oxydation	●	●	●
Contrôle du pH	●	●	●
Coagulation		●	●
Floculation – décantation			●
Adsorption	●	●	●

Tableau 1

Le choix de la filière de traitement à adopter en fonction de la concentration en arsenic, est donné dans le tableau 1.

Les derniers développements sur la toxicité de l'arsenic ont eu pour effet d'abaisser la norme de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine, en France et en Europe, à 10 µg·L⁻¹. Aux Etats-Unis, le sujet n'est pas clos, et il est envisagé d'abaisser la norme à 2 ou 5 µg·L⁻¹.

L'élimination de l'arsenic ne pose a priori pas de problème ; des techniques conventionnelles parfaitement maîtrisées ont fait la preuve de leur efficacité (précipitation avec des sels de fer, ou le nouveau procédé d'adsorption sur oxy-hydroxyde de fer), et des techniques tout aussi efficaces mais plus coûteuses peuvent être employées dans le cas d'eaux plus difficiles à traiter (procédés membranaires).

Cependant, quelques problèmes restent en suspens, notamment celui des boues que l'on ne peut plus évacuer en décharge, ainsi que le développement de techniques économiquement viables dans les pays en voie de développement.