

### PRÉSENCE DU FLUOR DANS L'EAU

Le fluor n'existe pas dans l'eau à l'état libre, mais sous forme de fluorures liés à d'autres ions : calcium, sodium, aluminium ...

Les fluorures de l'eau proviennent de la dissolution des roches pour les eaux souterraines, et de rejets industriels pour les eaux de surface. En fonction de l'origine de l'eau, les teneurs en fluorures peuvent varier de 0,01 à 0,3 mg/l dans les eaux de surface, jusqu'à quelques dizaines de mg/l dans les aquifères situés essentiellement dans des zones à activités géothermique, volcanique, ou contenant des proportions importantes de phosphates.

### EFFETS ET NUISANCES

La plupart des aliments contiennent du fluor, principalement les poissons et le thé, mais en fonction de la situation géographique, et donc des variations de la composition chimique de l'eau, le principal vecteur de l'apport en fluor peut être, soit l'eau consommée, soit l'alimentation. L'ion fluorure s'incorpore aux dents et aux os.

Les fluorures à faible dose préviennent la carie dentaire, la concentration minimum efficace étant de 0,5 mg/l. En fonction de la quantité d'eau ingérée, les fluorures peuvent provoquer une fluorose dentaire (taches sur l'émail) pour des concentrations se situant entre 0,9 et 1,2 mg/l. La fluorose du squelette (douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations) s'observe lorsque l'eau de boisson contient de 3 à 6 mg de fluorures par litre. Il n'existe pas de preuve suffisante du caractère cancérogène des fluorures chez l'homme.

Il est à noter que plus la température ambiante est élevée, plus la consommation d'eau de boisson augmente, ce qui peut impliquer que les concentrations en fluorures indiquées ci-dessus doivent être revues à la baisse. En France, la fluoration de l'eau est déconseillée, car elle peut entraîner un dépassement global du fluor ingéré par le biais de l'eau, des aliments, mais aussi du fait de l'emploi de certains produits d'hygiène (dentifrices fluorés).

### 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), fixent la limite de qualité des fluorures à 1,5 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine. Cette limite correspond à la valeur guide établie par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

### TECHNIQUES D'ÉLIMINATION ENVISAGEABLES

Si l'on ne dispose pas d'une autre source d'eau à faible concentration en fluorures pour pratiquer une dilution permettant de respecter la limite de qualité concernant les fluorures, on doit alors utiliser une technique spécifique d'élimination du fluor, ou bien une technique correctrice permettant d'associer son élimination à celle d'un autre composé gênant.

#### Les techniques spécifiques du traitement du fluor

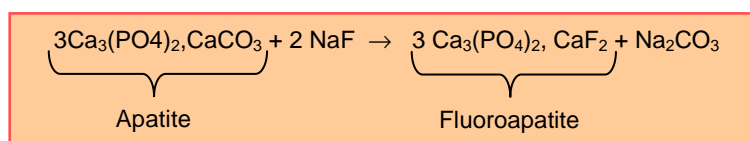
Il existe deux méthodes spécifiques d'élimination des fluorures :

- l'adsorption sur alumine activée ;
- l'échange d'ions sur phosphate tricalcique.

**L'adsorption sur alumine activée** est une méthode approuvée pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, selon la circulaire DG5/VS4 n°2000-166 du 28 mars 2000. Elle consiste à faire percoler l'eau à travers de l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), matière poreuse capable d'adsorber le fluor. L'efficacité de cette technique dépend de la composition de l'eau à traiter ; il y a en effet des phénomènes de compétition avec d'autres ions, comme les hydrogénocarbonates, la silice, le bore et le fer. La capacité de rétention peut varier de 0,3 à 45 g d'ion F<sup>-</sup> par litre de matériau.

Il est donc nécessaire d'effectuer au préalable des essais pilotes afin de déterminer l'efficacité du traitement. Pour ce qui est de la régénération du matériau, elle est possible car le processus met en jeu des liaisons ioniques. Différentes solutions ont été testées : régénération au sulfate d'alumine, à la soude, à l'acide sulfurique, ou à l'aluminate de sodium. Celles à la soude et à l'acide sulfurique s'avèrent les plus efficaces et les moins coûteuses.

**L'échange d'ions sur phosphate tricalcique** se réalise entre un ion carbonate de l'apatite et un ion fluorure, formant ainsi de la fluoroapatite insoluble, et donc décantable.



Le phosphate tricalcique est commercialisé sous forme de poudre, mais peut également être formé in-situ grâce à une réaction entre de l'acide phosphorique et du chlorure de calcium ou de la chaux.

Des essais réalisés avec des broyats d'os calcinés ont montré que cette technique est utilisable pour des installations rustiques et de faible capacité. Convenablement dimensionnée, une installation peut faire baisser la concentration en ions fluorures de 5 à moins de 1 mg/l. L'inconvénient majeur du procédé demeure la préparation des os calcinés.

*Remarque* : Aucun procédé spécifique d'élimination du fluor sur résines échangeuses d'ions n'existe aujourd'hui.

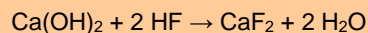
### Les techniques correctives permettant d'éliminer simultanément les ions fluorures et d'autres composés

Ces techniques utilisent les procédés suivants :

- la coagulation-floculation ;
- la précipitation à la chaux ;
- les techniques membranaires.

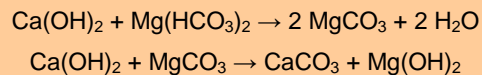
**La coagulation-floculation** : l'affinité du fluor pour l'alumine peut être utilisée de façon avantageuse lors d'une clarification utilisant du sulfate d'alumine comme coagulant. Cependant, les quantités de réactif mises en jeu (entre 50 et 150 g par g de F<sup>-</sup> à éliminer) étant très importantes, cette technique n'est utilisée que dans des cas d'eaux à faible teneur en ions fluorures.

**La décarbonatation** à la chaux, traitement utilisé pour diminuer la dureté de l'eau (voir Memotec n°6) : les fluorures précipitent sous forme de fluorures de calcium, selon la réaction suivante :



Mais cette méthode ne permet pas d'obtenir une concentration résiduelle en fluor inférieure à celle exigée par la norme (1,5 mg/l) pour des eaux dont la concentration en calcium est inférieure à 200 mg/l.

Cependant, un deuxième phénomène intervient lors du traitement à la chaux. Si l'eau contient du magnésium, il se forme de l'hydroxyde de magnésium selon les équations suivantes :



L'hydroxyde de magnésium formé peut alors adsorber les fluorures, puis décanter. Théoriquement, il faut une concentration en magnésium de 50 mg/l environ, pour éliminer 1 mg/l de fluor. Pour les eaux ne contenant pas cette quantité de magnésium, ce qui est couramment le cas, il faudrait ajouter du sulfate de magnésium ou de la chaux dolomitique (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>). Cette méthode n'est pas utilisable car il faut mettre en œuvre une quantité importante de réactif, entraînant une production de boues également importante.

**Les techniques membranaires** (nanofiltration, osmose inverse et électrodialyse) permettent de retenir plus ou moins les ions fluorures, mais leur coût d'investissement élevé implique que ces procédés soient utilisés seulement lors d'une correction de la minéralisation de l'eau. De plus, les ions fluorures étant monovalents, la nanofiltration s'avère peu efficace.

### CONCLUSION

Même si les problèmes liés à un excès de fluor dans l'eau sont connus, il n'existe aujourd'hui que très peu d'usines de défluoration.

L'adsorption sur alumine activée est le procédé le plus utilisé. Mais la durée de vie assez faible du matériau, ainsi que les problèmes de régénération, ne permettent pas son utilisation à grande échelle.

Les techniques de précipitation à la chaux ou à la magnésie ne peuvent être utilisées que dans le cas d'une faible concentration en ions fluorures, et dans le cadre d'un traitement de la dureté de l'eau.

Quant aux techniques membranaires, ces méthodes sont compétitives seulement si elles sont utilisées dans le cadre d'une correction simultanée de la minéralisation totale, ou d'un ou plusieurs paramètres spécifiques (voir Memotec n°1).