

PRÉSENCE DU FER ET DU MANGANÈSE DANS L'EAU

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe^{2+} , le fer ferrique Fe^{3+} et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques, ...) et minérales (silicates, phosphates, ...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde, $Fe(OH)_3$. Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution.

La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques, et de l'utilisation de sels ferriques comme coagulants.

Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels.

EFFETS ET NUISANCES

Le fer est un oligoélément indispensable, à l'état de trace, à la santé humaine. Des concentrations en fer, même élevées, ne constituent pas de risques pour la santé humaine. Les nuisances liées à la présence de fer dans l'eau sont :

- la neutralisation d'une partie des désinfectants due à l'oxydation du fer ;
- la distribution d'une eau couleur rouille, esthétiquement peu engageante pour le consommateur, et qui peut tacher le linge et les sanitaires ;
- le goût "métallique" procurer à l'eau ;
- le risque de corrosion des canalisations dû au développement de micro-organismes (ferrobactéries).

Tout comme le fer, le manganèse ne présente pas de risques pour la santé humaine. Les inconvénients sont identiques à ceux du fer : problèmes organoleptiques (couleurs, goûts), taches sur le linge, et risque de développements bactériens.

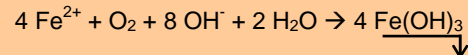
RÉGLEMENTATION

La directive européenne 98/83/CE du 03 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 comme référence de qualité une concentration en fer total de 0,2 mg/l, et de 0,05 mg/l pour le manganèse. L'OMS prescrit, comme valeur-guide, une concentration en fer égale à 0,3 mg/l, et de 0,1 mg/l pour le manganèse.

TECHNIQUES D'ÉLIMINATION ENVISAGEABLES POUR LE FER

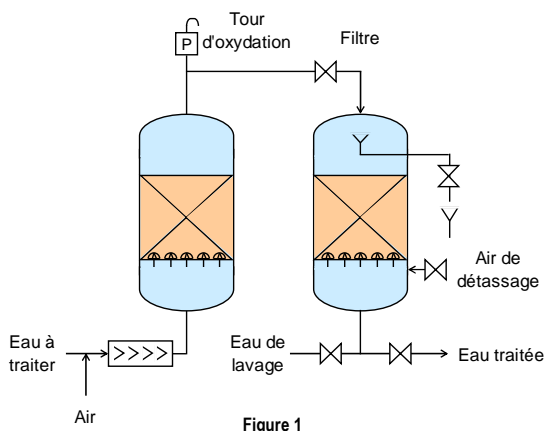
L'oxydation chimique

A $pH > 4$, le fer dissous est présent sous forme de fer ferreux. Il suffit de l'oxyder en fer ferrique pour qu'il précipite. Cette oxydation est possible en réalisant une simple aération, selon la réaction ci-contre.



Cette étape permet d'éliminer également l' H_2S et le CO_2 agressif, lorsqu'elle est réalisée à l'atmosphère. Les différentes techniques d'oxydation sont :

- le ruissellement en nappe mince au contact de l'air ;
- la pulvérisation de l'eau en atmosphère plus ou moins oxygénée (buses, aérateurs de surface) ;
- la diffusion de gaz surpressés (air, oxygène ou air ozoné) ;
- le barbotage avec de l'air au sein d'une masse catalytique (pouzzolane).



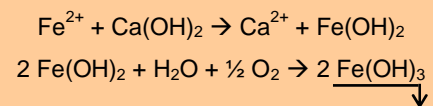
La réaction d'oxydation est d'autant plus rapide que le pH est plus élevé et que l'eau est plus proche de la saturation en oxygène. Par contre la présence de matières organiques, ou de tout autre élément complexant, retarde la réaction, nécessitant alors un traitement complémentaire, consistant, soit en une injection d'un oxydant puissant, permanganate de potassium, ozone (voir Memotec n°29), soit en une coagulation si les précipités obtenus sont très fins, risquant de ce fait de ne pas être retenus au niveau de la filtration. Pour les cas difficiles, la filtration peut être du type bicouche (anthracite + sable).

Le procédé physico-chimique le plus classique (figure 1) consiste en une installation fonctionnant sous-pression, comportant en amont de la filtration, une tour d'oxydation remplie de pouzzolane qui procure une grande surface de contact.

Remarque : pour des eaux contenant plus de 7 mg/l de fer, il doit être interposé une étape de décantation entre l'aération et la filtration.

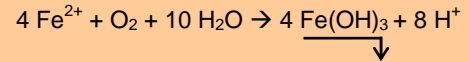
Traitement associé à une décarbonatation

Pour des eaux présentant un TAC notable, l'ion Fe^{2+} se présente essentiellement à l'état de bicarbonate. Si l'eau nécessite également un adoucissement partiel par décarbonatation à la chaux (voir Memotec n°6), l'élévation du pH entraînera la précipitation du fer dissous, suivant les réactions ci-contre.



L'oxydation biologique

Certaines bactéries spécifiques (ferrobactéries), tirent leur énergie de l'oxydation du fer pour leur développement. Pour cela toutes les conditions doivent être réunies : teneur en oxygène, pH, température de l'eau, potentiel redox... Ces bactéries sont autotrophes, c'est à dire que leur source de carbone est minérale (HCO₃⁻, CO₂).

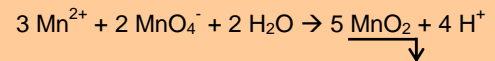


Cette déferrisation est réalisée dans des filtres à sable, dont le média est colonisé par les souches bactériennes spécifiques du fer. Un apport d'oxygène, plus ou moins important en fonction du pH, est réalisé en amont du filtre, afin de favoriser le développement des bactéries, et en aval, pour revenir à un taux d'oxygène normal dans l'eau après consommation par les bactéries.

TECHNIQUES D'ÉLIMINATION ENVISAGEABLES POUR LE MANGANÈSE

Oxydation chimique par le permanganate de potassium

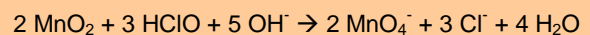
Contrairement au fer, l'oxydation du manganèse par l'air n'est pas possible car la réaction est très lente. On doit recourir à un oxydant plus puissant, comme le permanganate de potassium (KMnO₄). Le dioxyde de manganèse formé suivant la réaction ci-contre, est insoluble.



Une partie de l'oxyde de manganèse se fixe sur le sable, et sert ensuite de catalyseur à la réaction d'oxydation du manganèse, ce qui permet de diminuer la dose de permanganate à injecter. La dose de permanganate de potassium ne doit pas être introduite en excès, car cela entraînerait la coloration rose de l'eau.

Oxydation catalytique sur dioxyde de manganèse naturel

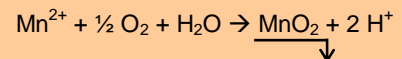
Le dioxyde de manganèse naturel est un produit agréé pour l'utilisation en traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Du chlore, injecté en amont du filtre, oxyde le dioxyde de manganèse en permanganate.



Le permanganate oxyde à son tour le manganèse, et le dioxyde de manganèse ainsi formé se dépose sur le média.

Démanganisation biologique

La présence de manganèse dans l'eau, associée à des conditions favorables à leur développement (teneur en oxygène, pH, température de l'eau, potentiel redox...), permet le développement de bactéries spécifiques tirant leur énergie de la réaction d'oxydation du manganèse, ci-contre.



Les principales bactéries utilisant le manganèse sont hétérotrophes, c'est-à-dire que leur source de carbone est organique.

Afin d'obtenir des conditions idéales au développement bactérien, on injecte de l'air (50 à 90% de la saturation) en amont du filtre à sable, le média servant de support au développement bactérien. Ces microorganismes consommant de l'oxygène, il est donc nécessaire de réinjecter de l'air en aval du filtre.

CONCLUSION

Si l'eau contient du fer et du manganèse, leur élimination peut s'effectuer :

- soit en utilisant le procédé physico-chimique de déferrisation (*figure 1*), en injectant, en aval de la tour d'oxydation, du permanganate de potassium ;
- soit par voie biologique, en installant en série les filtres de déferrisation et de démanganisation, le traitement simultané dans un seul filtre étant impossible, du fait que les bactéries impliquées sont différentes, et qu'elles nécessitent des conditions de développement spécifiques.

Les procédés biologiques sont intéressants à tout point de vue, comparativement aux traitements physico-chimiques (*tableau 1*), mais toutes les conditions doivent être réunies pour assurer le développement des bactéries spécifiques. On doit sinon faire appel à une oxydation chimique. L'oxydation chimique du fer, lorsqu'il n'est pas complexé à la matière organique, est beaucoup plus facile à effectuer que l'oxydation chimique du manganèse, car elle peut être réalisée grâce à une simple aération. Pour le manganèse, l'oxydation catalytique est une alternative intéressante à l'oxydation classique par le permanganate de potassium.

COMPARATIF DES TRAITEMENTS		
PARAMÈTRE	BIOLOGIQUE	PHYSICO-CHIMIQUE
Vitesse d'oxydation	Rapide	Nécessite une tour d'oxydation
Réactifs	Absence	Nécessité soit d'un oxydant, soit d'un coagulant + flocculant
Capacité de rétention	Importante	Environ 5 fois moindre – Nécessité de filtres bi-couches pour des concentrations élevées
Vitesse de filtration	Élevée – 30 m/h et plus	7 à 10 m/h
Consommation d'eau de lavage	Faible	5 fois plus élevées
Qualité des boues	Concentrées, facilitant d'autant la déshydratation	Faible concentration

Tableau 1