



LE FER ET LE MANGANESE DANS LES EAUX NATURELLES ET PROCEDES D'OXYDATION CHIMIQUE. CAS DES EAUX ALGERIENNES

IRON AND MANGANESE IN NATURAL WATERS AND CHEMICAL OXIDATION METHODS. CASE OF ALGERIAN WATERS

ACHOUR S., TIBERMACHINE A.A., CHABBI F.

Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface -LARHYSS
Faculté des Sciences et de la Technologie - Université de Biskra –
B.P. 145 R.P, 07000, Algérie

samia.achour@larhyss.net

RESUME

L'objectif de l'étude est une synthèse des principales caractéristiques du fer et du manganèse dans les eaux naturelles ainsi que des procédés d'oxydation permettant leur élimination. Les sources du fer et du manganèse sont naturelles ou anthropiques. Dans les eaux algériennes, leurs teneurs sont variables et excèdent parfois les normes de potabilité. Malgré la diversification des procédés de déferrisation et de démanganisation, l'oxydation chimique est la solution la plus utilisée dans les stations de traitement, notamment lors de la potabilisation des eaux de barrages algériens. Les procédés d'oxydation appliqués tels que l'aération et la chloration restent toutefois insuffisants pour produire une eau de consommation avec des teneurs en manganèse conformes aux normes.

Mots-clés : Fer, manganèse, oxydation chimique, eaux algériennes, stations de traitement d'eau potable.

ABSTRACT

The objective of the study is a summary of the main characteristics of iron and manganese in natural waters as well as oxidation processes allowing their removal. The sources of iron and manganese are natural or anthropogenic. In Algerian waters, their concentrations are variable and sometimes exceed drinking water standards. Despite the diversification of deironing and demanganization processes, chemical oxidation is the most used solution in drinking water plants, especially during the treatment of Algerian dam water. However, applied oxidation processes such as aeration and chlorination are still insufficient to produce drinking water with manganese contents in accordance with standards.

Keywords: Iron; manganese; chemical oxidation; Algerian water; drinking water plant.

INTRODUCTION

Les eaux naturelles possèdent des propriétés très différentes et contiennent de nombreuses substances dissoutes ou en suspension en fonction de leur origine (eaux souterraines ou superficielles). naturelles. Ces divers constituants peuvent être minéraux (sels, gaz), organiques ou biologiques.

Parmi les éléments minéraux métalliques souvent présents, le fer et le manganèse sont naturellement contenus dans l'écorce terrestre. La dissolution du Fer et Mn dans l'eau se fait à partir des roches (cristallines et sédimentaires). Lorsque ces métaux sont d'origine anthropique, ils proviennent principalement des rejets industriels (extraction et raffinage des métaux, galvanoplastie,...) et de la corrosion de conduites métalliques (Degrémont, 2005 ; Loupoukine, 1999).

Le fer et le manganèse sont des éléments essentiels à la nutrition et nécessaires à l'homme pour survivre, lorsqu'ils sont à l'état de trace. A plus forte concentration, le fer et le manganèse sont des éléments indésirables et des normes de potabilité fixent les limites de concentrations dans les eaux destinées à la consommation (Santé Canada, 1987 ; WHO, 2008 ; JORADP, 2011). Le tableau 1 résume quelques normes et recommandations pour les teneurs limites dans les eaux de boisson.

Tableau 1 : Normes et recommandations pour le fer et le Mn

	Normes Algériennes (2011)	Normes O.M.S (2008)	Normes U.E (1998)	Normes U.S.A (1990)	Normes Canada (2005)
Fer (mg/l)	0,3	-	0,2	0,3	0,3
Mn (mg/l)	0,05	0,4	0,05	0,05	0,05

La présence du fer et/ou du manganèse dans les eaux naturelles entraîne par ailleurs divers désagréments comme la dégradation de la qualité des eaux, celle des ouvrages de stockage et distribution et l'impact sur l'efficacité de la désinfection (Rodier et al, 2009).

Il est donc nécessaire de traiter ces eaux pour éliminer au maximum ces deux éléments. Il existe actuellement différents procédés de déferrisation et de démanganisation, des procédés physico-chimiques et biologiques.

L'objectif principal de notre étude consiste en une mise au point sur la présence ainsi que sur les procédés physico-chimiques d'oxydation du fer et du manganèse des eaux naturelles. Notre intérêt portera aussi sur l'identification de la présence de ces deux métaux dans les eaux algériennes et leur devenir.

FER ET MANGANESE DANS LES EAUX ET TRAITEMENTS D'OXYDATION ASSOCIES

Présence et propriétés du fer et du manganèse dans les eaux naturelles

Le fer et le Mn se trouvent généralement dans les eaux souterraines sous forme dissoute alors que dans les eaux de surface, ils peuvent être aussi bien sous forme non dissoute que dissoute et notamment complexés à de la matière organique (acides humiques, fulviques, tanniques, ...) et minérales (silicates, phosphates,...) (Doré, 1989).

Dans les eaux naturelles, les teneurs en fer et Mn sont très variables en fonction de la nature de l'eau et des teneurs en oxygène dissous dans ces eaux. Les concentrations du fer dans l'eau sont comprises entre moins d'1 µg/l à plus de 50 mg/l. Naturellement, les concentrations en manganèse des eaux souterraines sont en moyenne 10 fois moins élevées que les concentrations en fer (Rodier et al, 2009).

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. C'est un élément chimique, de symbole Fe et de numéro atomique 26. Le noyau de l'atome de fer 56 est l'isotope le plus stable de tous les éléments chimiques, car il possède l'énergie de liaison par nucléon la plus élevée (Mahan, 1987).

On peut rencontrer le fer à l'état naturel sous plusieurs états d'oxydation, les principales sont (Cardot, 1999) :

- 0 : métal à l'état pur dénommé fer natif rencontré dans les mines
- +2 : fer bivalent appelé fer ferreux, noté Fe II, existant surtout sous la forme dissoute Fe^{2+}
- +3 : fer trivalent appelé fer ferrique, noté Fe III, rencontré à l'état précipité $Fe(OH)_3$

Le manganèse est un métal de transition gris-blanc qui ressemble au fer.

C'est un élément chimique, de symbole Mn et de numéro atomique 25. Les états d'oxydation les plus communs sont +2, +3, +4, +6 et +7, bien que tous les états entre +1 et +7 soient observés. Les composés de manganèse où celui-ci est en état +7 sont de puissants agents oxydants ; par exemple, le permanganate de potassium $KMnO_4$, à la couleur violet sombre bien connue (Mahan, 1987). Dans les eaux naturelles, 2 degrés d'oxydation du Mn présentent un intérêt :

- Comme dans le cas du fer, on peut dire que la valence +2 qui correspond à des composés solubles, est la valence de transport,
- alors que la valence +4 qui correspond à un composé très peu soluble, le bioxyde de manganèse MnO_2 est la valence d'élimination (Roques, 1990).

Le fer et le manganèse changent d'état physico-chimique (dissous, précipité) en fonction du pH, du potentiel rédox du milieu et des réactions de complexation (Cardot, 1999).

Le fer et le manganèse coexistent généralement dans les eaux naturelles et celles-ci, en fonction de leur pH et de la présence ou non d'oxygène, constitueront des milieux oxydants ou réducteurs.

La grande majorité des eaux naturelles en équilibre avec l'atmosphère est située dans une gamme de pH allant de 5,5 à 8,5 et un intervalle de potentiel redox entre 0,3 et 0,5 Volt. Ces quatre points extrêmes définissent sur le diagramme (Potentiel, pH) une surface de zone stable qui caractérise le domaine d'existence des eaux naturelles en équilibre avec l'atmosphère (Roques, 1990).

Aux valeurs de pH des eaux naturelles ($5,5 < \text{pH} < 8$), le fer et le manganèse sont présents sous forme divalente Fe^{2+} et Mn^{2+} et il suffit de les oxyder ou d'agir sur le pH pour les faire passer sous forme insoluble.

L'ion Mn^{2+} peut exister à un potentiel plus élevé que Fe^{2+} , il sera donc plus difficile à oxyder. La présence dans les eaux d'autres espèces ioniques notamment les bicarbonates, les sulfates, les silicates ou la présence de matières organiques peuvent contribuer à stabiliser le fer et le manganèse sous forme de complexes et accroître la difficulté de leur oxydation (Lopoukhine, 1999).

Traitements d'oxydation pour l'élimination du fer et du manganèse

Les procédés conventionnels de déferrisation et de démanganisation consistent à faire passer le fer et le manganèse d'une forme dissoute, Fe^{2+} ou Mn^{2+} , à une forme oxydée insoluble par une réaction d'oxydo-réduction par voie physico-chimique ou biologique (Charles, 2008). Les précipités formés lors de l'oxydation sont ensuite éliminés par des traitements de séparation physique (décantation, flottation, filtration) (Degremont, 2005).

L'oxydation chimique peut s'effectuer par simple aération (par l'air ou par l'oxygène). Mais elle est alors relativement inefficace pour l'élimination du manganèse qui peut nécessiter l'emploi d'oxydants plus forts comme l'ozone, le chlore, le bioxyde de chlore ClO_2 , ou le permanganate de potassium (Cardot, 1999).

Dans les tableaux 2 et 3 sont rapportées les réactions d'oxydoréduction et les doses stœchiométriques en oxydant.

Les doses théoriques et réelles d'oxydants à injecter peuvent varier suivant la qualité des eaux brutes, c'est pourquoi il est nécessaire de réaliser au préalable des essais en laboratoires pour connaître les doses réelles à ajouter.

Les cinétiques de ces réactions sont très différentes et très dépendantes des conditions d'oxydation à savoir le pH, la température, la dose en oxydant et la présence de catalyseurs ou d'inhibiteurs. Il est intéressant de noter que les réactions d'oxydation du fer sont rapides voire immédiates en particulier avec l'oxygène dissous dans l'eau (Charles, 2008).

Contrairement à l'ion ferreux, l'oxydation de l'ion manganoux par l'oxygène de l'air est très lente, voire presque inexistante lorsque le pH est inférieur à 9 (Stumm et Morgan, 1996). Voilà pourquoi d'autres oxydants sont employés pour oxyder le manganèse.

Tableau 2 : Réactions d'oxydation de Fe²⁺ par divers oxydants et taux de traitements théoriques pour oxyder 1mg/l Fe²⁺ dans l'eau ultra pure (Charles, 2008)

Oxydant	Réaction	Taux de traitement théorique
O ₂	$4 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 10 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{Fe(OH)}_{3(s)} + 8 \text{H}^+$	0,14 mg O ₂ /mg Fe
Cl ₂	$2 \text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe(OH)}_{3(s)} + 2 \text{Cl}^- + 6 \text{H}^+$	0,63 mg Cl ₂ /mg Fe
KMnO ₄	$3 \text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_4^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 5 \text{OH}^- \rightarrow 3 \text{Fe(OH)}_{3(s)} + 5 \text{MnO}_{2(s)}$	0,94 mg KMnO ₄ /mg Fe
ClO ₂	$\text{Fe}^{2+} + \text{ClO}_2 + 3 \text{OH}^- \rightarrow \text{Fe(OH)}_{3(s)} + \text{ClO}_2^-$	1,21 mg ClO ₂ /mg Fe
O ₃	$2 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_{3(aq)} + 5 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe(OH)}_{3(s)} + \text{O}_{2(aq)} + 4 \text{H}^+$	0,43 mg O ₃ /mg Fe

Tableau 3 : Réactions de Mn²⁺ avec différents oxydants et taux de traitements théoriques pour Oxyder 1mg/l Mn²⁺ (Lessard, 1999)

Oxydant	Réaction	Stoechiométrie
O _{2(aq)}	$\text{Mn}^{2+} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_{2(s)} + 2\text{H}^+$	0,29 mg O ₂ /mg Mn
Chlore libre	$\text{Mn}^{2+} + \text{HOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_{2(s)} + \text{Cl}^- + 3\text{H}^+$	1,29 mg Cl ₂ /mg Mn ⁽¹⁾
ClO ₂	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_{2(s)} + 2\text{ClO}_2^- + 4\text{H}^+$	2,45 mg ClO ₂ /mg Mn
KMnO ₄	$3\text{Mn}^{2+} + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{MnO}_{2(s)} + 4\text{H}^+$	1,92 mg KMnO ₄ /mg Mn
O _{3(aq)}	$\text{Mn}^{2+} + \text{O}_{3(aq)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_{2(s)} + \text{O}_{2(aq)} + 2\text{H}^+$	0,88 mg O ₃ /mg Mn

1): cela équivaut à 1,36 mg NaOCl/mg Mn

LE FER ET LE MANGANESE DANS LES EAUX ALGERIENNES

Aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux algériennes

En Algérie, les eaux naturelles destinées à la consommation proviennent aussi bien d'eaux de nappes souterraines que d'eaux superficielles, notamment des barrages.

De nombreux travaux ont pour objectif l'étude de leur qualité physico-chimique. Les données existantes montrent ainsi une qualité moyenne, voire parfois médiocre. Ceci est conforté par la comparaison de ces données avec les normes de potabilité algériennes (JORADP, 2011) et les recommandations de l'OMS (2008).

Les eaux souterraines présentent ainsi une minéralisation totale assez élevée. En particulier, les eaux du sud algérien ont une composante minérale variée et à des teneurs dépassant souvent les normes. (Achour et al, 2008 ; Bouchemal et Achour, 2015)).

Dans le cas des eaux de surface, les valeurs de la charge organique sont élevées et indiquent également que la décomposition biologique de la matière organique est peu importante (Achour et al, 2009 ; Achour et al, 2014). Les analyses publiées par les bulletins mensuels de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH, 2017) montrent par ailleurs que les eaux de barrage présentent une minéralisation assez conséquente, et une pollution organique exprimée en DBO₅ ou en DCO est également présente à des teneurs élevées.

Teneurs en fer et Mn dans les eaux souterraines et superficielles

En Algérie, l'exploitation des ressources hydriques tant souterraines que superficielles est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigué et l'industrie. Il s'en est suivi depuis plusieurs décennies un impact néfaste sur la qualité des ressources en eau. De nombreux cas de pollution industrielle et urbaine ont été observés, en l'occurrence au niveau des barrages, ces derniers étant l'exutoire de rejets extrêmement polluants (Harrat et Achour, 2010).

Les teneurs en fer et en manganèse sont très variables dans les eaux algériennes et peuvent provenir aussi bien de la nature géologique des terrains que de pollutions industrielles ou de décharges publiques.

Différentes études (Debieche, 2002 ; Khelfaoui et al, 2012 ; Achour et al, 2015 ; Kerboub et Fehdi, 2014) rapportent ainsi la présence d'éléments métalliques aussi bien dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface, le fer et le manganèse étant omniprésents.

Fe et Mn dans les eaux souterraines

Une étude réalisée sur 56 forages destinés à l'alimentation potable dans la région d'Ain Defla a permis de déterminer différents paramètres physico-chimiques. Dans les échantillons prélevés, les concentrations du fer se situent dans une gamme de 0 à 0,08 mg/l et n'excèdent jamais la valeur limite admissible de 0,3 mg/l. Les auteurs (Hamaidi et Hamaidi-Chergui, 2014) observent que les eaux souterraines, en conditions anaérobies, n'aboutissent à aucun trouble ni coloration malgré la présence de fer lorsque l'eau est

directement pompée du forage. La concentration en Mn dans ces eaux varie de 0 à 0,02 mg/l et ne dépasse pas la norme de potabilité de 0,05 mg/l (JORA, 2011).

Une autre étude sur les aquifères de Bredeah (région d’Oran) aboutit à des teneurs en fer entre 0,02 et 0,18 mg/l et le manganèse entre 0,03 et 0,35 mg/l montrant ainsi des teneurs en Mn qui peuvent parfois dépasser les normes de potabilité et sont attribués à une infiltration d’eaux rejetées par des installations industrielles (Yebdri et al, 2010).

Dans le Sud algérien, le fer dissous existe plus spécialement dans les eaux profondes où il peut atteindre des teneurs élevées (Achour et al, 2008). Le tableau 4 présente quelques exemples de teneurs en fer dans les eaux des nappes profondes pour les régions étudiées.

Edmunds et al. (2003) indiquent également que la concentration en fer total dans les eaux du CI (Continental Intercalaire) augmente de valeurs allant de 0,2 à plus de 10 mg l⁻¹ en fonction de l’évolution du potentiel redox de ces eaux.

Tableau 4 : Teneurs en fer dans quelques eaux des nappes albiennes du Sud Est algérien (Achour et al, 2008)

Forage	El Hadeb (Ouargla)	Tamelhat (Ouargla)	Sidi Mahdi (Touggourt)	Blidet Amor (Touggourt)	Ouled Djellal (Biskra)
Fer dissous (mg/l)	1,9	3,0	1,8	2,7	0,43

Dans les eaux de la nappe du Mio-Pliocène de la région d’Ouargla, le fer et le manganèse sont présents à des concentrations non négligeables, en particulier pour le manganèse dont les teneurs dépassent largement les normes de potabilité (Tableau 5).

Tableau 5 : Teneurs en fer et manganèse dans les nappes du Mio-Pliocène dans la région d’Ouargla (Source ANRH, citée par Bouari et al, 2006)

Nom du forage	Fer (mg/l)	Mn (mg/l)
Université (Ouargla)	0,04	2,5
Matmoura (Ouargla)	0,01	9,0
Bamendil (Ouargla)	0,03	7,0

Une étude sur les eaux souterraines de la région de Biskra (Achour et al, 2015 ; Bouchemal et Achour, 2015) montre par ailleurs que les concentrations en fer et en Mn sont variables selon le niveau aquifère. Les échantillons analysés présentent des concentrations nulles en fer total pour la nappe Phréatique et

celle du Maestrichtien, et des concentrations faibles ne dépassant pas 0,28 mg/l dans la nappe du Mio-Pliocène et de l'Eocène inférieur conformes aux normes algériennes. Cependant, la concentration en manganèse est élevée sur l'ensemble des eaux de forages étudiées et peut atteindre 6 à 7mg/l.

Ces teneurs importantes en manganèse dépassant parfois la norme de potabilité de 50µg/l sont l'indice d'une pollution dont l'origine ne pourrait être qu'industrielle (Bouchemal et Achour, 2015).

Fer et Mn dans les eaux de surface

Diverses études ont porté sur la pollution métallique et le suivi spatio-temporel de la concentration de plusieurs métaux dans les oueds et les lacs algériens, notamment à l'Est du pays (Bendjama et al, 2014; Gueddah, 2003). La présence des métaux dont le fer et le manganèse en fortes concentrations est dans tous les cas expliquée par les rejets industriels et ceux d'eaux usées urbaines non épurées.

Pour l'étude de Bougherira et Hani (2012), la surveillance de la pollution des eaux de surface par les métaux lourds dans la plaine de la Meboudja (Région d'Annaba) a commencé en 1999 et s'est poursuivie en 2005 et en 2006. Cette étude a consisté en une caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain de la plaine d'El-Hadjar. Le fer a été retrouvé à l'aval des points de rejets issus de différentes industries en saison sèche 1999 (26,30 mg/l), une concentration supérieure à la limite de rejet (3mg/l) et la contamination par le fer avec 6,28 mg/l pour l'année de 2005. La contamination par le manganèse des eaux superficielles, à l'aval du site, a été retrouvée en saison sèche 1999 (3,4 mg/l) et en Octobre 2006 (1mg/l).

Le tableau 6 présente quelques exemples de teneurs en fer et manganèse dans des eaux superficielles algériennes.

Les résultats de ces diverses études mettent ainsi en évidence une pollution importante des oueds et des lacs insuffisamment protégés alors que les eaux de barrages alimentant les stations de potabilisation d'eau semblent encore préservées de fortes pollutions métalliques.

Tableau 6 : Teneurs en fer et en manganèse dans quelques eaux superficielles en Algérie

Localisation de l'eau superficielle	Fer (mg/l)	Mn (mg/l)	Référence bibliographique
Lac Reghaïa (Est d'Alger)	0,52-1,43	0,24-0,34	Taleb Ahmed et al, 2008
Lac Obéïra (El Kala) Est Algérie	5,52-17,19	0.61-1,12	Bendjama et al, 2014
Lac Tonga (El Kala) Est Algérie	2,1-5,63	0,05-0,53	Bendjama et al, 2014
Oued Meboudja (Annaba)	0-26,3	0-3,4	Debieche, 2002
Oued Seybouse (Annaba)	0,18-0,7	0-0,2	Debieche, 2002
Barrage Koudiet Medouer (Batna)	0,16	0,030	Données Station Eau potable Koudiet Medouar (Batna, 2015)
Barrage Keddara (Boudouaou)	0,05	0,03	Données Station eau potable Boudouaou (Est Alger, 2015)

QUELQUES DONNEES SUR L'OXYDATION CHIMIQUE DU FER ET DU MANGANESE DANS LES STATIONS DE TRAITEMENT ALGERIENNES

En Algérie, il existe de nombreuses stations de traitement d'eaux de barrages destinées à l'alimentation en eau potable. Le schéma de traitement de ces stations est assez classique dans la majorité des cas, avec un prétraitement, une phase de clarification et l'étape finale de désinfection. Cependant, plusieurs stations (Batna, Mila, Bouira, Tlemcen, Mostaghanem,...) comportent des procédés d'aération en cascades, combinés ou non à une préoxydation par des réactifs chimiques tels que le chlore, le permanganate de potassium ou l'ozone.

Au cours d'une étude sur la station d'Ain Tinn (Wilaya de Mila, Est algérien), différents paramètres de qualité de l'eau brute et traitée (avant la désinfection finale) ont été déterminés. Dans le tableau 7 apparaissent les teneurs de plusieurs substances qui ont pu varier au cours des traitements appliqués à l'eau en station. Les teneurs en fer et en manganèse apparaissant dans ce tableau montrent que les étapes d'oxydation (aération, permanganate et préozonation) ont éliminé totalement le fer des eaux traitées (Achour et Chabbi, 2017). Par contre, le manganèse a subi une augmentation de sa concentration probablement due à l'utilisation du permanganate en prétraitement.

Tableau 7 : Qualité physico-chimique de l'eau brute et filtrée de la station d'Ain Tinn (Mila) (Achour et Chabbi, 2017)

Paramètre	Eau brute	Eau traitée
pH	8,03	7,77
Cond (mS /cm)	1,24	1,25
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,38	0,15
Fe ²⁺ (mg/l)	0,15	0,0
Mn ²⁺ (mg/l)	0,10	0,12
Abs UV (λ= 254nm)	0,080	0,056

Au cours du suivi sur plusieurs années de la qualité des eaux de la station de traitement alimentée par le barrage d'Ain Zada (Sétif), le fer est apparu à des concentrations variant entre 0,1 et 0,4 mg/l pour les eaux brutes et reste présent à des teneurs voisines de 0,05 à 0,15 mg/l dans les eaux à la sortie de la station (Medjaaf, 2015) malgré une chloration en prétraitement et en désinfection finale.

L'évolution du fer et du manganèse dans la station de traitement alimentée par le barrage Koudiet Medouar (Batna, Est algérien) semble influencée par les traitements d'oxydation chimique pratiqués (Préchloration, injection de permanganate et désinfection finale au chlore) en plus de l'aération. La figure 1 montre que le fer est globalement bien éliminé au cours du traitement alors que le manganèse reste présent dans l'eau traitée à des teneurs qui peuvent dépasser la norme de potabilité.

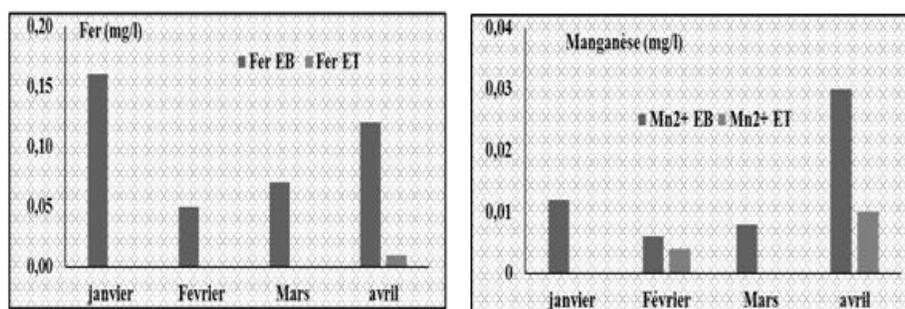


Figure 1 : Evolution du fer et du Mn dans l'eau brute et traitée de la station Koudiet Medouar (Merzoug, 2015)

Tous ces exemples mettent évidence que les filières de traitement des eaux de surface en Algérie n'éliminent pas d'une façon spécifique le fer ou le manganèse.

Concernant les eaux souterraines, L'ADE (Algérienne des Eaux) a lancé la en 2013 le projet de réalisation d'une station de déferrisation des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable de la ville d'ILLIZI. L'eau à ILLIZI provient et est exploitée à travers des forages de l'aquifère Dévonien inférieur.

Cette eau est de bonne qualité minérale à l'exception de sa turbidité causée par la présence de fer en quantité excessive (3 mg/l au lieu de 0,3mg/l). Ces valeurs dépassent les concentrations maximales recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé et nationales.

Le Ministère des Ressources en Eau a décidé de lancer une opération de travaux de réalisation d'une station de déferrisation d'une capacité de 10 000 m³/j afin d'améliorer la qualité de l'eau distribuée aux consommateurs. La chaîne de traitement est composée des ouvrages suivants :

- Tour d'oxygénation par cascade
- Bassin de décantation
- Bassin de filtration
- Désinfection chimique par chloration dans le réservoir d'accumulation.

CONCLUSION

Cette étude a eu pour objectif de décrire la présence du fer et du manganèse dans les eaux naturelles, leurs propriétés ainsi que les procédés d'oxydation chimique pouvant les éliminer au cours du traitement. Dans les eaux naturelles, les teneurs en fer et Mn sont très variables en fonction de la nature de l'eau et des teneurs en oxygène dissous dans ces eaux. Dans les eaux algériennes, ces deux métaux peuvent provenir aussi bien de la nature géologique des terrains que de pollutions industrielles ou de décharges publiques.

Sur le plan chimique, le fer et le Mn peuvent présenter divers états d'oxydation et leur spéciation est fortement influencée par le pH de l'eau et le potentiel redox du milieu. Dans les eaux profondes des nappes albiennes du Sud algérien, les conditions réductrices peuvent mener à des teneurs qui dépassent largement les normes de potabilité.

Le fer et le manganèse sont donc considérés comme des éléments indésirables et des normes de potabilité des eaux sont établies par la plupart des réglementations.

Pour éliminer ces métaux, les procédés conventionnels de déferrisation et de démanganisation consistent à faire passer le fer et le manganèse d'une forme dissoute à une forme oxydée insoluble ensuite éliminée par des traitements de séparation physique. L'oxydation chimique du fer peut s'effectuer par simple aération. Mais elle est relativement inefficace pour l'élimination du manganèse qui peut nécessiter l'emploi d'oxydants plus forts comme l'ozone, le chlore et ses dérivés.

Concernant l'élimination du fer et du manganèse des eaux algériennes, la plupart des traitements appliqués dans les stations de traitement des eaux de barrage ne sont pas optimisés pour éliminer spécifiquement le fer et le manganèse. Toutefois, les teneurs en fer sont parfois réduites grâce à la combinaison de plusieurs procédés d'oxydation (aération, préoxydation chimique). Quant au manganèse, il peut souvent se retrouver à des concentrations dépassant les normes de potabilité dans les eaux distribuées aussi bien d'origine souterraine que superficielle.

L'évolution du manganèse et sa présence dans les eaux traitées est, à ce titre, préoccupante compte tenu de sa potentielle toxicité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR S., CHABBI F. (2017), Etude des étapes d'oxydation/désinfection de la station de traitement des eaux d'Ain Tinn (Mila, Est algérien), Larhyss Journal, n° 31, pp.213-247.
- ACHOUR S., BOUCHEMAL F., YUCEF L. (2015), Inorganic Pollutants in South Algeria Waters and Treatment Options by Adsorption onto Clay, International Journal of Engineering Research in Africa (JERA), Vol. 13, pp.81-90
- ACHOUR S., CHABBI F., GUERGAZI S.(2014), Drinking water chlorination and adverse public health outcomes in Algeria, Advanced Materials Research, Vols. 1030-1032, pp.501-508.
- ACHOUR S., GUERGAZI S., HARRAT N. (2009), Pollution organique des eaux de barrage de l'Est algérien et effet de la chloration. « L'état des ressources en eau au Maghreb en 2009 », Partie IV, Chapitre 14, Ed. UNESCO et GEB-Environnement, Rabat, Maroc.

- ACHOUR S., YUCEF L. ET GUERGAZI S. (2008), Qualité physico-chimique des eaux souterraines et superficielles du Sahara septentrional oriental algériens, l'Eau, l'Industrie, les Nuisances, Vol. 311, pp.79-84.
- ADE (2014), Réalisation d'une station de déferrisation des eaux souterraines pour l'AEP de la ville d'Illizi, Algérie, Projet de l'Algérienne des Eaux, www.ade.dz/index.php/projets-2/projets-ade
- ANRH(2017), Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Bulletins mensuels de la qualité des eaux de barrage, <http://www.anrh.dz/bultinqualite.htm>
- BENDJAMA A.,DJABRI L., CHOUCANE T., BOUKARI A., TLILI S. (2014), La contamination métallique des eaux lacustres des zones humides du PNEK située au Nord-Est algérien, Actes de la Conférence Internationale sur l'énergétique appliquée et la pollution, organisée par le laboratoire LEAP, 14-15 Décembre , Constantine, Algérie
- BOUARI Z., MEKHLOUFI O., ZOUAOUI N. (2006), Spéciation de certains éléments minéraux dans les nappes profondes de la cuvette d'Ouargla, Mémoire de DES en Biologie, Université d'Ouargla, Algérie.
- BOUCHEMAL F., ACHOUR S. (2015), Qualité physico-chimique et paramètres de pollution des eaux souterraines de la région de Biskra, LARHYSS Journal, n° 22, pp.197-212.
- BOUGHERIRA N., HANI A. (2012), Évaluation du risque pour l'environnement des métaux lourds [Fe(T)-Mn] issus du milieu Industriel : Cas de la plaine de la Meboudja, Nord-Est Algérien, Afrique Science Journal, Vol 8, n° 1, pp.30-41
- CARDOT C. (1999), Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques, Ed.Ellipses, France, 256p.
- CHARLES P. (2008), Elimination catalytique du fer et du manganèse pour la production d'eau potable, Etude financée par l'Agence de l'Eau Seine Normandie, Rapport Final SUEZ Environnement, Octobre.
- DEBIECHE T.H. (2002), Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, Agricole et industrielle, Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, France
- DEGREMONT (2005), Mémento technique de l'eau, 10^{ème} Ed., Ed. Lavoisier, Paris, France
- DORE M. (1989), Chimie des oxydants-Traitement des Eaux, Ed. Tec et Doc/Lavoisier, Paris, France.
- EDMUNDS W.M., Guendouz A.H., Mamou A., Moulla A., Shand P., Zouani K. (2003), Groundwater evolution in the continental intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: Trace element and isotopic indicators, Applied geochemistry, Vol.18, pp.805-822.

- GUEDDAH D. (2003), Evaluation de la pollution industrielle dans la région de Skikda, Mémoire de Magister, Université de Skikda, Algérie.
- HARRAT N., ACHOUR S. (2010), Pollution physico-chimique des eaux de barrage de la région D'El Tarf. Impact sur la chloration, Larhyss Journal, n°8, pp.47-54.
- HAMAIDI M.S., HAMAIDI-CHERGUI F. (2014), Physico-chemical Quality of Boreholes Water Used as a Source of Public Supply in Arib (Ain Defla-Algeria), European Academic Research, Vol.2, n°1, pp.5379-5392.
- JORA (2011) Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, JO n°18.
- KHELFAOUI H., CHAFFAI H., HANI A., LAOUAR R. (2012), Impact des rejets industriels sur les eaux de la région de Berrahal (Nord Est algérien), Rev.Sci. Technol., Synthèse, n°25, pp.71-81.
- KERBOUB D., FEHDI C. (2014), Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité des eaux souterraines. Cas de la région d'El Kantara, Sud Est Algérien, Afrique Science, Vol.10, n°1, pp.127-138.
- LESSARD C. (1999), Étude pilote sur l'enlèvement du fer et du manganèse des eaux souterraines: Étude du cas de la Ville de Sainte-Marie, Mémoire Maitre Es-Sciences, Université de Laval, Canada.
- LOPOUKHINE M. (1999), Le traitement du fer et du manganèse dans les eaux minérales, Rapport BRGM R 40566, 47 p.
- MAHAN B.H. (1987), Chimie, Ed. Dunod, Paris, France
- MEDJAAF R. (2015), Diagnostic de la station de traitement d'eau potable d'Ain Zada, Mémoire de Master en Hydraulique, Université de Biskra, Algérie.
- MERZOUG Z. (2015), Diagnostic de la station de traitement d'eau potable de Timgad, Mémoire de Master en Hydraulique, Université de Biskra, Algérie.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., BRUNET R. (2009), L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer: Analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris, 1600p.
- ROQUES H. (1990), Fondements théoriques du traitement chimique des eaux, Ed. Technique et Documentation-Lavoisier, France.
- SANTE CANADA (1987), Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document Technique-Le fer, Rapport du Gouvernement Canada, 5 pages.
- STUMM W., MORGAN J.J.(1996), Aquatic chemistry, 3rd Edition, Wiley-Interscience, New York, 1022 p.

TALEB AHMED M., CHAABANE T., TAHA S., MAACHI R. (2008), Treatment of heavy metals by nanofiltration present in the lake Reghaïa, Desalination, Vol.221, pp.277–283

WHO (2008), Guidelines for drinking-water quality-incorporating 1st and 2nd addenda, Vol.1, Recommendations. 3rd Ed., World Health Organization, Geneva.

YEBDRI L, HADJI F., BENAABIDATE L., DAHMANI B. (2010), Groundwater physico-chemical characteristics of Bredeah area Plain (Oran area, Northwest Algeria), Black Sea/Mediterranean Environment, Vol. 16, n°2, pp.157-166.