

ACTION OXYDATIVE DU PERMANGANATE DE POTASSIUM SUR LA MATIERE ORGANIQUE DES EAUX NATURELLES

OXIDATIVE ACTION OF POTASSIUM PERMANGANATE ON ORGANIC MATTER OF NATURAL WATER

S. GUERGAZI , S. ACHOUR

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS-
Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Hydraulique- Université de Biskra ; BP. 145.R.P.7000, Algérie
info@Larhyss.net , samia.achour@larhyss.net

RESUME

L'objectif de notre étude est d'examiner l'action du permanganate de potassium sur la matière organique susceptible de se trouver dans les eaux de surface.

Les essais d'oxydation par le KMnO_4 , seul puis couplé au chlore sont réalisés sur des solutions aqueuses synthétiques de composés organiques (phénol, résorcinol, substances humiques).

Les résultats obtenus ont montré que l'action oxydative du KMnO_4 se caractérisait par des potentiels de consommation en KMnO_4 élevés, quelque soit la structure du composé organique. Ces consommations sont apparues comme dépendantes du taux d'oxydant, du temps de contact, du pH et de la minéralisation du milieu. L'oxydation par le KMnO_4 est favorisée pour les forts taux d'oxydant, un pH basique et un temps assez long.

Le pH pourrait fortement conditionner les mécanismes d'oxydation, en fonction de la nature du couple redox en présence et de la structure plus ou moins dissociée du composé organique. La minéralisation du milieu de dilution des composés organiques a conduit à une consommation accrue en oxydant et à une accélération des cinétiques de réaction.

L'effet d'un couplage *pré-oxxydation au KMnO_4 / chloration* sur les composés organiques s'est traduit par des consommations en chlore plus faibles, notamment à pH voisin de la neutralité.

MOTS CLES : Permanganate de potassium, oxydation, substances humiques, phénol, résorcinol, chloration.

SUMMARY

The aim of our study is to examine effect of potassium permanganate on the organic matter in surface waters. Two oxidation experiments steps were conducted in aqueous synthetic solutions of organic compounds (phenol, resorcinol, humic substances). KMnO_4 was used alone in the first step, while the combination " KMnO_4 – Chlorine " was used in the second step. The obtained results have shown that oxidative effect of KMnO_4 is characterised by high consumption potentials whatever the tested organic compound structure. Consumption seems dependent on the following parameters namely, the oxidant ratio, the contact time, pH and the media mineralisation. Oxidation by KMnO_4 is improved by a high oxidant ratio, an alkaline pH and a significant contact time. Mechanisms of the oxidation could be strongly conditioned by pH, depending on the nature of redox couple and on the degree of the organic compound structure dissociation. The mineralisation of dilution media for organic compounds led to an acceleration of the kinetic reactions. Effect of the coupled treatment "Pre-oxidation by KMnO_4 /Chlorination" on organic compounds was found to reduce chlorine consumption, particularly when pH is nearby the neutrality value.

KEY WORDS: Potassium permanganate, oxidation, humic substances, phenol, resorcinol, chlorination.

1 INTRODUCTION

L'eau, principal élément constitutif de l'organisme est absolument indispensable à la vie et au bien être des populations. La démographie croissante, le développement de l'industrie et de l'agriculture oblige à faire de plus en plus appel à des eaux d'origines diverses et notamment les eaux de surface.

Cependant, les insuffisances existantes dans la protection de ces eaux face aux nombreuses pollutions peuvent contribuer à la dégradation de la qualité de ces eaux et à l'augmentation de certains micropolluants minéraux et surtout organiques indésirables dans les eaux destinées à la consommation (Achour et Moussaoui, 1993).

Il est donc indispensable de procéder au traitement de ces eaux afin de se conformer d'une part aux normes de probabilité et d'éviter d'autre part tout risque sanitaire lié à une éventuelle toxicité de ces substances.

Le traitement des eaux de boisson par chloration reste une étape très couramment utilisée et a pour but principal la destruction des bactéries grâce à l'action biocide du chlore. Il joue en outre différents rôles secondaires mais néanmoins importants tels que la destruction de l'azote ammoniacal, l'oxydation du fer, du manganèse. Il protège également contre la poussée des algues en station de traitement et facilite souvent la coagulation (Desjardins, 1997 ; Cheval, 1982). Mais l'inconvénient majeur de son emploi réside dans sa grande réactivité vis-à-vis de certains composés organiques qui induit la formation de composés organohalogénés suspectés d'être mutagènes et même cancérigènes. En particulier, les substances humiques et certains composés aromatiques peuvent conduire à des potentiels de consommation en chlore élevés (De laet et al, 1982 ; Achour et Guergazi, 2002).

Afin de diminuer ces consommations en chlore et en même temps la formation des organohalogénés, nous pouvons envisager le remplacement du chlore par le permanganate de potassium durant l'étape de pré oxydation de l'eau.

Le but de notre travail est d'étudier l'incidence de l'utilisation des permanganates en tant qu'oxydant sur la réactivité de divers composés à structure simple (phénol, résorcinol) ou complexe (substances humiques).

Notre étude est consacrée aux essais d'oxydation par le permanganate de potassium seul puis combiné au chlore. Différents paramètres réactionnels seront variés ou contrôlés au cours de ces essais (pH, temps de contact, taux d'oxydant et minéralisation du milieu).

2 PROCEDURE EXPERIMENTALE

2.1 Préparation des solutions synthétiques de composés organiques

Les solutions synthétiques de composés organiques sont préparées en utilisant comme milieux de dilution l'eau

distillée (pH = 6.85, une conductivité de 3 à 5 $\mu\text{s/cm}$) et une eau minéralisée (eau d'Ifri). Cette eau est exempte initialement de matière organique et d'oxydant résiduel libre. Quelques caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'Ifri apparaissent dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau Ifri

Paramètres	Valeurs
pH	7.20
Conductivité $\mu\text{s/cm}$	520
TAC ($^{\circ}\text{F}$)	18.5
TH ($^{\circ}\text{F}$)	29.5

Les composés organiques utilisés comme modèles sont le phénol et le résorcinol à structure aromatique simple, ainsi que les substances humiques de structure complexe (type humate de sodium) et qui présentent des caractéristiques proches de celles des substances humiques aquatiques et notamment des acides fulviques (Croué, 1987).

Les solutions synthétiques de composés organiques sont préparées en milieu tamponné pour des concentrations initiale de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-4} moles/l pour les composés simples et 10 mg/l pour les substances humiques.

2.2 Méthodes de dosage

L'oxydation du phénol, résorcinol et substances humiques est effectuée par des solutions concentrées de permanganate de potassium (10 à 16.81g/l).

Les taux d'oxydation adoptés sont définis comme le rapport molaire K variant de 0 à 20 pour les composés simples et k varie de 0 à 2 pour les substances humiques. Ce dernier est défini comme étant le rapport de la masse de KMnO_4 introduit par rapport à la masse des substances humiques. Le KMnO_4 résiduel, est donné par la formule suivante.

$$\text{KMnO}_4 \text{ résiduel (mg/l)} = V_1 N_1 \cdot 158.1000 / 5 V_2$$

$$\text{KMnO}_4 \text{ consommé} = \text{KMnO}_4 \text{ Introduit} - \text{KMnO}_4 \text{ Résiduel}$$

Lors de la combinaison des deux oxydants, le chlore ou le KMnO_4 résiduels ont été mesurés par la méthode iodométrique (Rodier, 1984). Le chlore résiduel est déterminé par :

$$\text{Cl}_2 \text{ résiduel (mg/l)} = 35.50 \cdot 10^3 (N_1 V_1 / V_2)$$

V_1 : Le volume de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) versé.

N_1 : La normalité de thiosulfate de sodium.

V_2 : Le volume de la prise d'essais = 10 ml.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Potentiels de consommation en permanganate de potassium en eau distillée

Les résultats des essais d'oxydation présentés dans le tableau 2, montrent que les potentiels de consommation en permanganate de potassium (KMnO_4) sont élevés quelque soit le composé organique testé. Ce qui témoigne d'une forte réactivité de ces composés vis-à-vis du KMnO_4 .

Les composés simples (phénol, résorcinol) qui sont caractérisés par des structures aromatiques à forte densité électronique sont sensibles aux attaques oxydatives. La présence de groupements activants tels que l'hydroxyle-OH accentue encore leur réactivité vis-à-vis du KMnO_4 . Ce qui explique les potentiels de consommation élevés de ces deux composés.

Tableau 2 : Potentiels de consommation en permanganate de potassium par le phénol, résorcinol et substances humiques. [Phé]= 1.06210^{-4} mol/l, [Rés]= 9.0910^{-5} mol/l, K=20 ; [SH]=10mg/l, k=2 ; pH= 7 ; Temps = 24 heures

Composé	P.C. KMnO_4
Phénol (mole/mole)	7.013
Résorcinol (mole/mole)	6.80
Substances humiques (mg KMnO_4 /mg SH)	0.830

Toutefois, on note une légère supériorité des potentiels du résorcinol par rapport au phénol et qui serait due à la présence d'un deuxième hydroxyle en position méta sur le cycle résorcinol.

Concernant les substances humiques et compte tenu de leur structure complexe, la forte réactivité observée serait expliquée par la présence d'un grand nombre de noyaux phénoliques dans la structure même de ces composés.

Cependant, il ne faut pas négliger la réactivité d'autres sites de type carboxylique ou même de type cétone ou aldéhyde dont l'oxydation procède par un clivage de liaison oxygène-manganèse et départ du proton. La présence d'acide aminés à la périphérie des noyaux des substances humiques permet aussi de présager une certaine réactivité de ces sites par coupure de liaison carbone - azote (Croué, 1987 ; Doré, 1989).

Par ailleurs, la fragmentation des molécules mères complexes des substances humiques en molécules plus simples mais plus réactives peut être envisagée également.

3.2 Influence du taux d'oxydation en permanganate de potassium en eau distillée

Le suivi de la variation de la consommation en KMnO_4 en fonction de la variation de (K) et (k) respectivement pour les composés aromatiques simples et les substances humiques est réalisé en eau distillée et à pH = 7. Les

résultats obtenus sont présentés sur la figure 1 pour un temps de contact de 2 heures.

L'examen de ces résultats montre que l'évolution des consommations en KMnO_4 est également similaire pour tous les composés.

Les courbes obtenues présentent deux zones distinctes :

- Pour les faibles taux d'oxydation inférieurs à 6 pour le phénol et le résorcinol et à 0.50 pour les substances humiques, la consommation augmente fortement indiquant une forte réactivité.
- Pour les taux d'oxydation plus élevés, les consommations subissent des variations plus faibles et semblent moins dépendantes du taux de KMnO_4 appliqué.

Il est donc possible de suggérer que les faibles taux peuvent induire des mécanismes d'oxydation aboutissant à des produits intermédiaires plus réactifs que le composé organique initial.

Par contre, de forts taux en KMnO_4 impliquent une oxydation énergique aboutissant probablement à des composés organiques peu réactifs (composés aliphatiques).

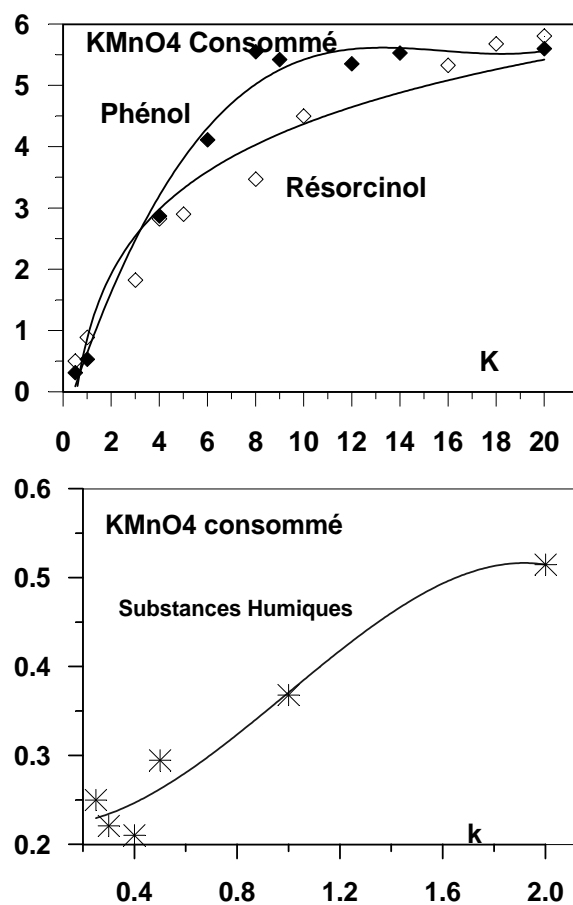


Figure 1 : Influence de la variation du taux de KMnO_4 sur les consommations en KMnO_4 par les composés organiques testés en eau distillée.

Phé]= 1.06210^{-4} mol/l, [Rés]= 9.0910^{-5} mol/l, [SH]=10mg/l; pH= 7 ; Temps = 2 heures

3.3 Influence du pH et du temps de contact sur la consommation KMnO_4

Pour faire apparaître cette influence sur la consommation en KMnO_4 , nous avons suivi la variation de la consommation en KMnO_4 par les composés organiques testés en considérant trois pH (pH = 4, 7 et 9). Nous avons choisi ces valeurs de pH afin de ne pas trop s'écarter des gammes de pH des eaux naturelles. Les résultats que nous avons présentés sur la figure 2 montrent que la réaction d'oxydation des composés organiques testés (phénol, résorcinol et substances humiques) présente deux étapes :

- Une étape très rapide au cours des 10 premières minutes et où la grande majorité du KMnO_4 introduit est consommée.
- Une étape succédant à la première et qui paraît lente, où la variation de consommation en KMnO_4 devient plus ou moins faible. Au bout de 2 heures, la réaction semble plus ou moins terminée. Ceci peut laisser supposer que l'oxydation des composés organiques par le KMnO_4 fait intervenir plusieurs processus dans les différentes étapes de la réaction d'oxydation et la cinétique de la réaction globale est généralement très complexe. De plus, beaucoup d'oxydations sont conduites dans des conditions telles que le bioxyde de manganèse hydraté précipite dans le milieu, ce qui complique encore le mécanisme du fait de la superposition des réactions en phase homogène et en phase hétérogène à la surface du précipité (Doré, 1989).

De même, nous pouvons dire aussi que la variabilité des résultats obtenus peut globalement s'expliquer par :

- La nature des couples redox qui varie avec le pH, le potentiel d'oxydo-réduction pouvant lui-même varier avec le pH.
- La structure chimique du composé organique et l'effet du pH sur sa réactivité.

Lors de l'oxydation des composés organiques par le KMnO_4 , les étapes de la réaction induisent des cinétiques très complexes.

Toutefois, en tenant compte du caractère oxydant du KMnO_4 qui réagit en tant qu'accepteur d'électrons, il semble évident que sa vitesse de réaction est dépendante du pH du milieu.

Dans la gamme de pH considérée entre 4 et 9, une grande différence de réactivité est notée.

Il faut noter avant tout qu'en milieu acide le couple redox en présence est $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ alors qu'en milieu neutre et basique c'est le couple $\text{MnO}_4^- / \text{MnO}_2$ qui réagira.

En milieu basique, la réactivité est plus importante et plus rapide qu'en milieu neutre et pouvant s'expliquer par une grande réactivité de certains intermédiaires à pH=9.

Compte tenu du pKa des composés testés (de l'ordre de 9,0), ceci pouvait également être expliqué par une plus grande réactivité de ces composés organiques sous forme

dissociée plutôt que sous forme moléculaire à pH = 7.

A pH acide, le couple redox est $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ et les mécanismes devraient être notablement différents et qui comporteraient une étape limitante qui conduit à la rupture des cycles aromatiques suivie de réactions plus rapides qui correspondraient à l'oxydation des produits résultant de l'ouverture du cycle.

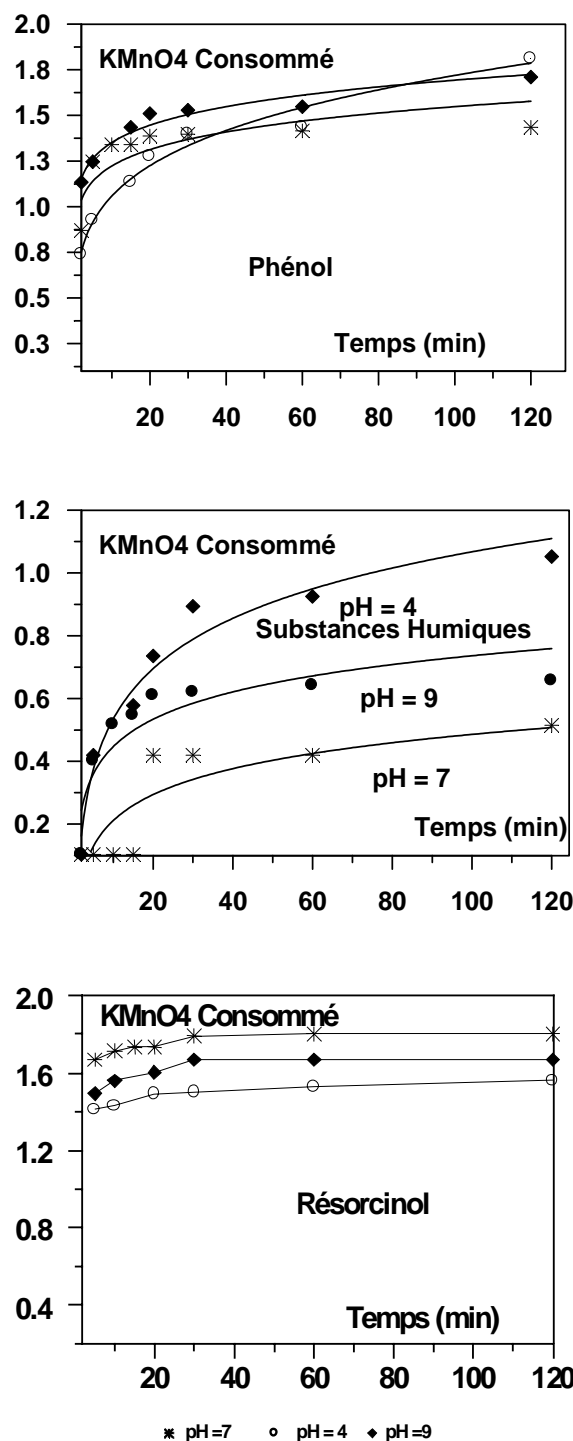


Figure 2 : Influence de la variation du temps de contact et du pH sur la consommation en KMnO_4 par les composés organiques testés en eau distillée. $[\text{Phé}] = 1.06210^{-4} \text{ mol/l}$, $[\text{Rés}] = 9.0910^{-5} \text{ mol/l}$, $K = 20$; $[\text{SH}] = 10 \text{ mg/l}$; $k = 2$

3.4 Potentiel de consommation en KMnO_4 par les substances humiques en eau minéralisée

Les potentiels de consommation en KMnO_4 dans l'eau d'Ifri sont présentés dans le tableau 3. Ils sont obtenus pour un temps de contact de 24 heures et un rapport massique k égal à 2. Nous rappelons les résultats obtenus sur l'eau distillée afin de faciliter la comparaison.

Tableau 3 : Potentiel de consommation en KMnO_4 par les substances humiques dans l'eau d'Ifri $k = 2$; $\text{pH} = 7.20$. Temps = 24 heures

	Eau Distillée	Eau d'Ifri
	P.C KMnO_4 (mg KMnO_4 /mg SH)	P.C KMnO_4 (mg KMnO_4 /mg SH)
Substances humiques	0.862	1.680

En examinant le tableau 3, il apparaît clairement que le potentiel de consommation en KMnO_4 est élevé et peut s'estimer à 84% de la quantité du KMnO_4 introduit après 24 heures.

Sur la base de nos résultats déjà obtenus en eau distillée et à pH voisin de la neutralité, il est intéressant de signaler les différences de réactivité qui sont apparues en utilisant des milieux de minéralisations différentes.

En prenant comme référence le potentiel de consommation en KMnO_4 en eau distillée, la variation du potentiel par rapport à cette eau est de l'ordre de 50%, elle est positive, indiquant ainsi une augmentation de la consommation en KMnO_4 en présence d'une minéralisation de l'eau.

L'ensemble de nos observations conduisent à penser que la minéralisation pourrait affecter la réaction du KMnO_4 avec les matières organiques présentes dans l'eau, soit globalement soit par le biais d'éléments minéraux spécifiques.

3.5 Cinétique de consommation en KMnO_4 par les substances humiques en eau minéralisée

La cinétique de consommation en KMnO_4 des substances humiques a été faite pour un rapport massique égal à 2 et un temps de contact variant de 2 minutes à 2 heures. Le suivi de la variation de la consommation en KMnO_4 en fonction du temps de contact a abouti aux résultats présentés sur la figure 3.

Cette figure montre qu'il existe toujours deux étapes, une étape rapide suivie par une étape lente.

En comparant les résultats que nous avons obtenus en eau distillée et en eau minéralisée, nous pouvons dire que les cinétiques sont plus rapides en milieu minéralisé qu'en eau distillée. Au regard des résultats que nous avons obtenus et présentés sur la figure 2, nous pouvons constater que dans le milieu minéralisé (eau d'Ifri) la demande en KMnO_4 est

plus importante. Ceci peut être expliqué par la présence d'autres éléments réactifs vis-à-vis de KMnO_4 .

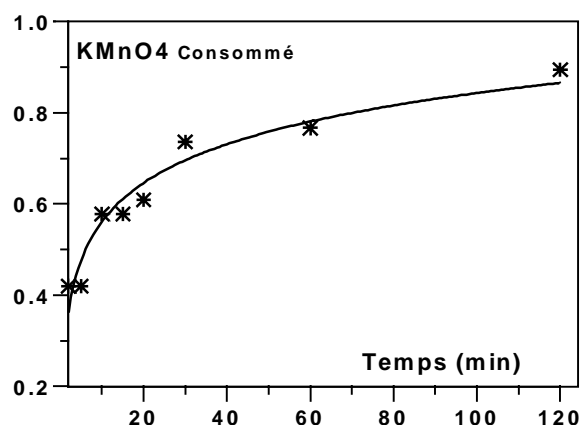


Figure 3 : Influence de la variation du temps de contact sur la consommation en KMnO_4 par les substances humiques en eau minéralisée (Ifri). $[\text{SH}] = 10 \text{ mg/l}$; $k = 2$; $\text{pH} = 7.20$.

En conséquence, nous pouvons déduire de tous ces résultats qu'il y a une influence notable de la minéralisation totale sur l'oxydation de la matière organique par le KMnO_4 et que le comportement de l'oxydant au sein des eaux douces (eau distillée) est différent de celui qu'on observe en eau minéralisée.

3.6 Combinaison de la pré oxydation au KMnO_4 et chloration

3.6.1 Potentiels de consommation en chlore en eau distillée

Les composés organiques (phénol, résorcinol et substances humiques) sont dans un premier temps pré oxydés à des taux de KMnO_4 constants $K = k = 2$ durant deux heures à $\text{pH} = 7$.

La chloration de ces composés est ensuite effectuée à un taux molaire $r = 20$ pour le phénol et le résorcinol et massique pour $m = 2$ pour les substances humiques. Au bout de 2 heures puis de 24 heures, la demande en chlore est évaluée par la mesure du chlore résiduel. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 4.

Ils montrent que les potentiels de consommation en chlore accusent une nette diminution lorsque la matière organique a subi une pré oxydation au KMnO_4 , notamment pour les composés simples. Dans le cas des substances humiques et aux taux de KMnO_4 utilisés, il semble toutefois que la diminution de la demande en chlore est moins significative.

Très peu de données sont disponibles en bibliographie et l'interprétation des résultats s'avère difficile. Toutefois, nous pouvons supposer qu'une oxydation massive des composés organiques par le KMnO_4 puisse aboutir à la formation de composés peu réactifs vis-à-vis du chlore, en particulier des structures aromatiques à fonctions carboxyliques (Masschelein, 1997). Par ailleurs, l'excès de

permanganate de potassium peut conduire à l'ouverture des cycles et à la formation de composés aliphatiques peu sensibles à l'action du chlore.

Tableau 4 : Potentiels de consommation en chlore des composés organiques [Phé]= 1.06210^{-4} mol/l, [Rés]= 9.0910^{-5} mol/l, $r = 20$; [SH]=10mg/l, $m = 2$; pH= 7.

Composés organiques	P.C.CL ₂ 2 heures	P.C.CL ₂ 24 heures	P.C.CL ₂ sans KMnO ₄ , 24 heures
Phénol (mole/mole)	2.12	4.236	9.25
Résorcinol (mole/mole)	1.85	2.94	7.51
Substances humiques (mg Cl ₂ /mg SH)	0.065	0.54	0.722

Dans le cas des substances humiques, la structures plus complexe de ces composés peut mener à la fois à la formation de structures plus réactives ou peu réactives au chlore en fonction des sites présents sur les substances humiques.

De ce fait, la diminution de la demande en chlore est moins importante que pour les composés simples.

Toutes ces observation semblent valables aussi bien pour la demande en chlore à court terme (2heures) qu'à plus long terme (24 heures).

3.6.2 Potentiels de consommation en chlore en eau d'Ifri

Le tableau 5 présente la demande en chlore des substances humiques en eau d'Ifri minéralisée au bout de 24 heures de réaction avec le chlore avec et sans KMnO₄.

Tableau 5 : Demande en chlore des substances humiques dans l'eau d'Ifri. [SH] = 10mg/l ; $m = 2$, $k = 1$.

	P.C.C (mg Cl ₂ /mgSH)	P.C.C sans KMnO ₄ (mg Cl ₂ /mgSH)
Substances humiques	0.935	1.49

Comparés aux potentiels de consommation en chlore en eau distillée nous pouvons constater une diminution des valeurs de potentiels obtenues en eau d'Ifri. Si nous rapprochons ces résultats de ceux de l'eau d'Ifri (Cf 3.4) et où la consommation en KMnO₄ augmentait, nous pouvons émettre l'hypothèse que le KMnO₄ étant plus réactif en milieu minéralisé, il a oxydé d'une manière suffisante la matière organique pour que sa réactivité diminue vis-à-vis du chlore.

La présence de calcium a pu également favoriser l'adsorption des substances humiques sur le précipité MnO₂ et diminuer aussi les consommations en chlore.

4 CONCLUSION

L'objectif de notre travail était d'étudier l'action d'un oxydant puissant, le permanganate de potassium sur la réactivité de la matière organique susceptible de se trouver dans les eaux de surface.

Au vu des résultats obtenus lors des essais sur les solutions synthétiques de composés organiques (phénol, résorcinol et substances humiques), le permanganate de potassium a présenté une action oxydative importante qui s'est caractérisée par des potentiels de consommation en KMnO₄ élevés, notamment pour les composés à structure phénolique.

Ces consommations sont apparues comme dépendantes du taux d'oxydation appliqué, du temps de contact, du pH et de la minéralisation du milieu.

L'oxydation par le KMnO₄ est favorisée pour les forts taux d'oxydant, pH basique et un temps assez long puisque les cinétiques semblent comporter une étape lente jusqu'à 24 heures de réaction.

La minéralisation du milieu peut influencer sur la demande en oxydant par la présence de certains éléments minéraux eux mêmes réactifs vis-à-vis du KMnO₄. Les mécanismes d'interaction entre les matière organiques, le KMnO₄, les matières minérales et le précipité de MnO₂ formé apparaissent donc comme complexes et rendent l'interprétation des résultats délicate.

Nous pouvons supposer que les composés aromatiques testés simples ou complexes subissent une oxydation en donnant des produits intermédiaires encore réactifs vis-à-vis du KMnO₄ et un excès de permanganate peut conduire à la rupture des cycles et formation de composés aliphatiques, notamment à pH voisin de la neutralité.

Lorsque le KMnO₄ est utilisé en pré oxydation avant la chloration, les conditions expérimentales adoptées ont permis de constater une diminution dans les demandes en chlore à pH =7, comparées aux demandes en chlore sans pré oxydation.

Ceci est d'autant plus intéressant qu'il est prévisible qu'une réduction des teneurs en organohalogénés formés pourra être observée, ce qui diminue les risques de toxicité pour la santé du consommateur.

En présence d'une minéralisation spécifique tels que les ions calcium, le bioxyde de manganèse pourrait jouer un rôle important dans l'adsorption d'une fraction de substances humiques présentes dans une eau et réduire de ce fait la consommation en chlore.

Cependant, nous pouvons dire que l'ensemble des résultats obtenus au cours de ce travail permettent de montrer que le KMnO₄ pourrait être couplé à la chloration non seulement pour l'oxydation du fer et du manganèse mais aussi pour une réduction des quantités de chlore introduit et une limitation des taux en organohalogénés formés après chloration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achour, S., Guergazi S., 2002. Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. Sci. Eau, 15, 3, 649-668.

Achour, S., Moussaoui K., 1993. Effet de la chloration sur quelques types d'eaux Algériennes, Tribune de l'eau, 564, 4, 32-34.

Cheval, A., 1982. La désinfection des eaux de consommation, Edition Office International de l'eau, France.

Croué, J.P., 1987. Contribution à l'étude de l'oxydation par le chlore et l'ozone d'acides fulviques naturels extraits d'eaux de surface, Thèse de Docteur d'Université, Poitiers,

France.

De laet, J., Merlet, N., Doré, M 1982. Chloration de composés organiques : Demande en chlore et réactivité vis-à-vis de la formation en trihalométhanes, Wat. Res., 16, 1437 – 1450.

Doré, M., 1989. Chimie des oxydants- traitement des eaux, Ed. Lavoisier, Paris.

Desjardins, R., 1997. Le traitement des eaux, Edition Ecole Polytechnique de Montreal, Canada.

Masschelein, W.J., 1997. Utilisation du permanganate de potassium dans le traitement des eaux. Tribune de l'eau, 50, 589, 1-55.

Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau : Eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 7^{ème} Edition, Paris.