



EFFET DES IONS NITRITES SUR LA REACTIVITE DE LA TYROSINE AU COURS DE LA CHLORATION D'UNE EAU SUPERFICIELLE ALGERIENNE.

EFFECT OF NITRITE IONS ON TYROSINE REACTIVITY DURING ALGERIAN SURFACE WATER CHLORINATION

HELLAL A., ACHOUR S.

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS)
Faculté des Sciences et de Technologie, Université de Biskra.

Achour.samia@larhyss.net

RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier la réactivité de la matière organique sous forme d'acide aminé aromatique (tyrosine), dissoute dans une eau de surface (eau du barrage Ain Dalia), vis-à-vis du chlore sous forme d'hypochlorite de sodium.

L'effet des nitrites est particulièrement examiné au cours de ces réactions. L'étude expérimentale présente les essais visant la détermination des potentiels de consommation en chlore, le suivi des cinétiques de consommation en chlore, ainsi que l'influence du taux de chloration. Les résultats des essais expérimentaux montrent que la réactivité du chlore vis-à-vis de la tyrosine est importante aussi bien en eau distillée qu'en en eaux minéralisées, mais subit une diminution en présence des nitrites. La présence des nitrites peut influencer d'une part la cinétique des réactions de chloration ainsi que la nature et la quantité des sous produits formés.

Mots-Clés : Eau de surface, nitrites, tyrosine, consommation en chlore, cinétique.

ABSTRACT

The objective of this study is to contribute to the knowledge of the reactivity of chlorine in the form of sodium hypochlorite on organic matter in form of aromatic amino acid (tyrosine) dissolved in surface water (Ain Dalia dam).

The effect of nitrite is particularly discussed during these reactions.

The experimental study presented tests for determining the potential of chlorine consumption, monitoring chlorine consumption kinetics, as well as the influence of the rate of chlorination. The results of experimental tests show that the reactivity of tyrosine is important as well in distilled water and mineralized water, but sudden a decrease in the presence of nitrite. The presence of nitrite can influence one hand the kinetics of chlorination reactions and the nature and quantity of disinfection by-products formed.

Keywords: surface water, nitrite, tyrosine, chlorination, chlorine consumption, kinetic.

INTRODUCTION

La désinfection est l'opération qui a pour objectif de produire une eau potable (destinée à la consommation humaine) (Moles, 2007). Elle consiste à éliminer les micro-organismes pathogènes ainsi qu'une partie de la pollution organique et minérale (Kemmer, 1984 ; Desjardins, 1997).

En Algérie, la chloration est à ce jour quasiment le seul procédé de désinfection/Oxydation appliqué. Le chlore est encore considéré comme le désinfectant le plus sûr, dont la mise en œuvre est simple et permettant un résiduel de chlore au cours de la distribution (Achour et Chabbi, 2014).

A travers le monde, le chlore reste l'un des désinfectants les plus couramment utilisés dans le traitement de l'eau en raison de son faible coût, sa facilité d'utilisation et surtout sa grande efficacité à tuer les microbes. Cependant, le chlore réagit également avec la matière organique naturelle (MON) et les bromures / iodures / nitrites présents dans l'eau, conduisant à la formation de trihalométhanes (THM), les acides haloacétiques (AHA), halonitromethanes (HNM) et d'autres sous-produits de désinfection (SPD) (Sadiq et Rodriguez, 2004; Hu et al, 2010). Des études de laboratoire et des enquêtes épidémiologiques ont montré que les sous-produits de la chloration ont été associés avec le risque de cancer de plus en plus et d'autres effets néfastes sur la

santé humaine. De nombreux organismes émettent régulièrement des normes de présence des SPD dans l'eau potable (WHO, 2000; Richardson et al, 2007).

L'ion nitrite est ubiquitaire et présent dans l'eau de surface, très instable, une des formes d'azote inorganique tout comme l'ammoniac ou l'ion nitrate (Hong et al., 2013). Il peut encore s'accumuler à des niveaux appréciables (par exemple, jusqu'à 2 mg N/ L) dans les régions déficientes en oxygène et pendant les saisons froides lorsque l'activité de comburants nitrites (par exemple Nitrobacter) est lente (Shan et al., 2012).

Diverses études ont mis en évidence que certaines classes de composés organiques comme les substances humiques, les acides aminés, les sucres et les bases azotées jouaient un rôle non négligeable dans l'évolution de la qualité bactériologique de l'eau en réseau de distribution, du fait de leur bonne aptitude à la biodégradation ou de leur forte demande en chlore (Dossier-Berne et al., 1996). Il est admis aussi que la génotoxicité identifiée dans les extraits d'eau potable provient principalement de l'action du chlore sur la matière organique naturelle qui donne naissance à des dérivés organohalogénés susceptibles d'affecter la santé humaine (Le Curieux et al., 1996). Cependant, une meilleure connaissance de ces composés spécifiques permet l'évaluation des procédés de traitement et le contrôle de la qualité de l'eau traitée. Parmi ces composés, les substances organiques azotées et notamment les acides aminés peuvent représenter une partie considérable de la charge organique des eaux naturelles. Les acides aminés sont connus pour leur forte consommation du chlore en particulier les acides aminés aromatiques. Ils constituent également une source potentielle d'azote et de carbone dans le processus de la recroissance bactérienne dans les réseaux de distribution (De Laat et al, 1982 ; Alouini, 1987; Hureiki et al, 1994 ; Hellal, 2008 ; Ounoki et Achour, 2011).

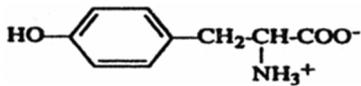
L'objectif de ce travail est donc d'examiner l'action du chlore sous forme d'hypochlorite de sodium sur la réactivité de la tyrosine qui est un acide aminé à structure aromatique. Il s'agit d'observer en particulier l'incidence de la composition chimique de l'eau de dilution (eau du barrage d'Ain Dalia) et notamment l'effet de la présence des ions nitrites. Des essais en eau distillée sont aussi réalisés à titre comparatif.

MATERIEL ET METHODES

Solutions du composé organique testé

Pour notre étude, nous avons utilisé un acide aminé aromatique qui est la tyrosine, c'est un produit commercialisé par Aldrich dont les caractéristiques et la structure sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques de la tyrosine (Seve, 2011).

Structure de la tyrosine	pK _a du COOH	pK _a du NH ₃	pHi	Masse molaire (g/mole)
	2.2	9.1	5.66	181.19

Les solutions synthétiques du composé organique (1.10×10^{-4} mole/l) sont préparées par dissolution dans l'eau de surface (eaux de barrage Ain Dalia) et l'eau distillée (Conductivité = $4 \mu\text{s/cm}$, pH = 7,16).

Echantillonnage et méthodes d'analyse des eaux

Les eaux de surface utilisées pour notre étude sont les eaux du barrage Ain Dalia. Ce dernier est situé dans la commune de Henancha à 7 km à l'Ouest de la ville de Souk-Ahras (Est algérien). Il alimente la station de traitement d'Ain Dalia en contrebas qui est le point de départ du système d'adduction pour l'alimentation en eau potable de la ville de Souk Ahras.

Le tableau 2 regroupe les caractéristiques physico-chimiques de l'eau testée.

Les analyses ont été réalisées au niveau du laboratoire LARHYSS, à l'université de Biskra, suivant les méthodes standards d'analyse (Rodier, 2005).

Tableau 2 : Principales caractéristiques physico-chimiques des eaux de barrage Ain Dalia.

Paramètres	Eau Ain Dalia
pH	7.8
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	621
TAC ($^{\circ}\text{F}$)	10.7
TH ($^{\circ}\text{F}$)	58
Cl^- (mg/l)	53.42
SO_4^{2-} (mg/l)	120
Br^- (mg/l)	0.04
$\text{NH}_3\text{-H}$ (mg/l)	0.09
$\text{NO}_3^- \text{N}$ (mg/l)	5,87
NO_2^- (mg/l)	0.07
SH (mg/l)	3.30
Oxydabilité au KMnO_4 (mgO_2/l)	3.9

Description des essais de chloration

Durant nos essais de chloration, les solutions en chlore sont utilisées sous forme d'hypochlorite de sodium NaClO (eau de javel) concentrée que l'on dilue dans l'eau distillée et dont la teneur en chlore actif est dosée avant chaque série d'essais. La teneur en chlore actif en g/l est régulièrement vérifiée par la méthode iodométrique (Rodier, 2005).

La chloration de la tyrosine est réalisée à une température ambiante, par ajout de micro-volumes d'eau de javel diluée et un taux de chloration molaire (r) défini comme étant le rapport entre la concentration du chlore introduit et la concentration de la tyrosine utilisée. Le chlore consommé est déterminé par la différence de chlore introduit et du chlore résiduel. Les conditions expérimentales de chloration de la tyrosine sont présentées dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Conditions expérimentales de chloration de la tyrosine.

Concentration de la tyrosine	1.10×10^{-4} mole/l
Taux de chloration (r)	0 à 7
Temps de contact (heures)	0 à 24
pH	pH= pH du milieu (Ain Dalia) pH = 7.16 (eau distillée)
NO_2^-	0.5 mg/l

RESULTATS ET DISCUSSION

Potentiels de consommation en chlore

Les potentiels de consommation en chlore de la tyrosine en eaux testées seules (eau distillée, eaux de barrage Ain Dalia), puis enrichies par les nitrites, ont été déterminés en appliquant une dose du chlore introduit de façon à ne pas avoir un déficit du chlore, sans toutefois avoir un large excès en chlore résiduel. Le temps de réaction est fixé à 24 heures, dans le but de satisfaire au maximum la demande en chlore et pour que la réaction soit achevée (Achour et al, 2016).

Les potentiels de consommation en chlore obtenus sont présentés dans le tableau (4) exprimés par un rapport molaire ($r\text{Cl}_2$), d'où $r\text{Cl}_2 = \text{Nombre de moles de chlore consommé/Concentration molaire du composé}$.

Tableau 4 : Potentiels de consommation en chlore de la tyrosine

$[\text{Tyr}] = 1.10 \times 10^{-4}$ mole/l; $[\text{Cl}_2]_{\text{introduit}} = 2.8 \times 10^{-4}$ mole/l ; $[\text{NO}_2^-] = 0.5$ mg/l, Temps = 24 heures.

Milieux de dilution	$r\text{Cl}_2$ (moles Cl_2 /moles Tyr). Sans NO_2^-	$r\text{Cl}_2$ (moles Cl_2 /moles Tyr). avec NO_2^-
Eau distillée pH = 7.16	1.97	2.37
Eau d'Ain Dalia pH = 7.8	2.52	2.33

Au vu des résultats présentés dans le tableau (4), nous pouvons constater que le composé testé (tyrosine) a des potentiels de consommation en chlore assez importants comme la plupart des acides aminés (phénylalanine, alanine) (Doré, 1989 ; Hellal, 2008 ; Ounouki et Achour, 2011). Ces résultats indiquent ainsi une réactivité appréciable de la tyrosine vis-à-vis du chlore en eau distillée et qui devient plus importante en présence de nitrite. La structure à radical aromatique et la présence du groupement activant OH peuvent expliquer le comportement de la tyrosine au cours de la chloration en eau distillée (Doré, 1989 ; Hureiki, 1994 ; Achour, 2001).

Par ailleurs, les consommations en chlore de la tyrosine en eau distillée peuvent augmenter et varier entre 1 et 11 moles du chlore introduit par mole de la tyrosine après une heure de contact et entre 1 et 14 moles /mole pour un temps de contact égal à 24 h (Ounouki et Achour, 2011)

Nos résultats en eau distillée sont donc en accord avec ces valeurs en tenant compte du fait que le taux de chloration est voisin de 2 au cours de nos essais.

Il est intéressant de signaler que les potentiels de consommation en chlore dans l'eau de barrage d'Ain Dalia dépassent ceux obtenus dans l'eau distillée. Cette observation est liée directement avec les caractéristiques physico chimiques des eaux et notamment avec la teneur en matière organique (SH) et le taux de bromure, chlorures, sulfates et même azote ammoniacal. Mais il faut signaler que le potentiel de consommation en chlore dans les eaux de barrage subit une diminution en présence des nitrites par rapport à celles trouvées en eau de barrage sans nitrites et en eau distillée. Ceci peut indiquer une plus faible réactivité du chlore vis à vis de la matière organique (tyrosine) en présence de nitrites et qui joueraient le rôle d'un agent inhibiteur de la chloration.

Cette diminution de potentiel de consommation en chlore en présence de NO_2^- peut être expliquée par le fait que l'excès de chlore n'a pas oxydé tout le nitrite en nitrate, mais transformé un montant fixe de nitrite en ClNO_2 , qui a encore réagi avec la matière organique et mené à la formation des halonitromethanes (HNM). (Hong et al., 2015). Ceci est différent de l'hypothèse proposée par Song et al. (2010), et selon laquelle les agents oxydants en excès (y compris le chlore) peuvent transformer le nitrite en nitrate immédiatement, laissant peu ou pas de nitrite pour participer à la formation de halonitromethanes.

Il a été rapporté que le nitrite est incorporé dans les MO pour former les agents précurseurs d'HNM par nitration ClNO_2 , qui est formé pendant la chloration de nitrite (Shah et Mitch, 2012). Cependant, la nitration de la MO est un processus de substitution électrophile (Gao, 1999). Les structures conjugué / aromatique,

ayant une forte densité d'électrons, sont plus vulnérables au réactif électrophile ClNO_2 par rapport à celles aliphatiques (Hong et al., 2015).

Nos essais en eau minéralisée (eau de barrage d'Ain Dalia) montrent une fois de plus, et en accord avec les travaux d'Achour et Guergazi (2002) et Guergazi et Achour (2005), que la minéralisation totale n'était pas le seul paramètre à considérer. La composition de la matrice minérale de l'eau et surtout les proportions relatives en éléments promoteurs et inhibiteurs de la consommation en chlore peuvent compliquer le schéma des réactions du chlore (Achour et al, 2016).

Effet du temps du contact sur la consommation en chlore

Le suivi de la cinétique de la consommation de chlore en fonction du temps de contact est réalisé sur les eaux du barrage Ain Dalia dopées par la tyrosine. La quantité du chlore introduit est de 2.8×10^{-4} mole/l, le pH du milieu réactionnel est celui de l'eau testée. Les résultats obtenus sont présentés sur les courbes de la figure 1.

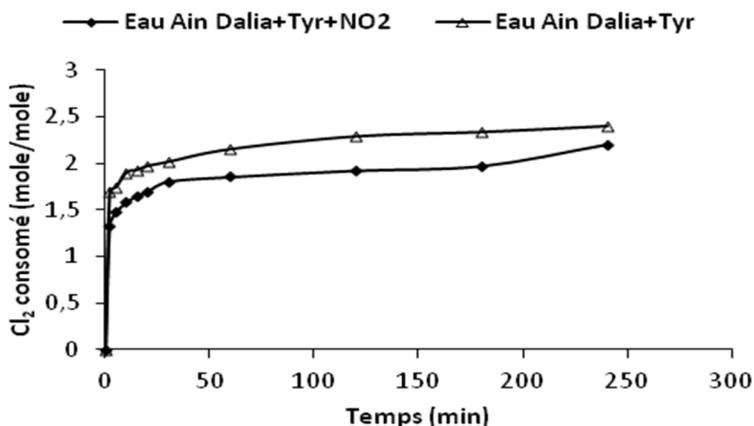


Figure 1 : Influence du temps sur la consommation en chlore de la Tyrosine.
[Tyr] = 1.1×10^{-4} mole/l ; r = 2.54 (mole/mole)

A partir des résultats de la figure 1, nous pouvons constater que les cinétiques en eaux testées montrent 2 étapes distinctes (rapide et lente) dans la consommation en chlore. Ceci rejoint les observations indiquées au cours de la

chloration d'autres composés aromatiques tels que les phénols ou l'aniline (Achour et Guergazi, 2002).

La première étape est rapide mais se prolonge jusqu'à environ 30 minutes pour les deux échantillons. La seconde étape est plus lente et la consommation en chlore augmente progressivement jusqu'au temps de 24 heures.

Toutefois, la consommation en chlore apparaît comme moins rapide en présence de nitrites. L'ordre de réactivité serait le suivant : eau de barrage+ Tyr > eau de barrage + Tyr +NO₂⁻ et confirmerait ce que nous avons constaté pour les potentiels de consommation après 24 heures.

En effet, après un temps de contact de 15 minutes, le pourcentage en chlore consommé est de 75,33% pour l'eau d'Ain Dalia sans nitrite, alors que pour le même temps ce pourcentage était de 64,50% en présence de nitrite. Cependant après environ 30 minutes de temps de réaction, la consommation se ralentit quelque soit l'échantillon d'eau indiquant que des composés moins réactifs et à cinétique plus lente consommeraient le chlore au cours de cette phase.

Ces composés peuvent être des sous-produits de la réaction du chlore avec la tyrosine ou avec d'autres composés présents initialement dans les eaux, telles que les substances humiques. La présence des sulfates et chlorures et parfois des phosphates peuvent ralentir les réactions de consommation du chlore (Achour et Guergazi, 2002).

Influence du taux de chloration sur les potentiels de consommation en chlore

Afin d'observer l'influence du taux de chloration sur la réactivité de la tyrosine vis-à-vis du chlore, nous avons varié les rapports molaires du chlore introduit entre 0 et 7 pour l'eau de surface étudiée avec un temps de contact de 30 minutes, pour une teneur en tyrosine constante mais à pH naturellement tamponné. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 2.

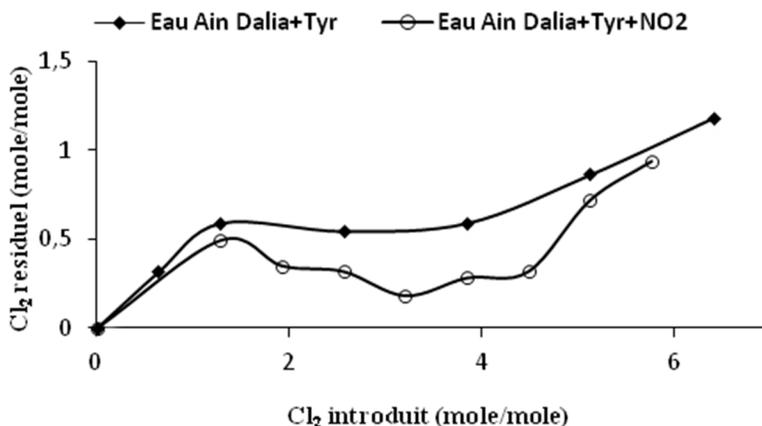


Figure 2 : Evolution du chlore résiduel en fonction du taux de chloration de la tyrosine en eau de surface. [Tyr]= 1.10×10^{-4} mole/l ; temps=30 minutes.

L'observation des courbes de la figure 2 montrent que, quelque soit les milieux de dilution pour la tyrosine, le point de rupture ou le break-point apparaît d'une façon assez peu évidente aussi bien en absence de nitrites qu'en présence de ce dernier.

D'après Achour (2001), les chloramines dérivant de la tyrosine sont plus stables que pour d'autres acides aminés et leur dégradation nécessite de forts taux de chlore. Ce qui confirme l'inexistence d'un Break-point évident sur la figure 2. Ceci s'expliquerait par une compétition entre la dégradation des chloramines pour l'apparition du "Break-point" et une substitution électrophile sur le cycle favorisée par la présence du groupement donneur OH⁻ (Achour, 2001 ; Ounoki et Achour, 2011).

Les chloramines sont donc formées mais leur destruction nécessite une dose de chlore assez importante.

Achour et al (2016) et Achour et Guergazi (2005) ont montré que la détermination du point de rupture (break-point) dans une eau naturelle pourra dépendre non seulement de la teneur en azote ammoniacal mais aussi d'une matrice assez complexe de composés organiques et minéraux d'une eau entrant en réactions compétitives vis-à-vis du chlore. Ce qui induit par la suite un déplacement de ce point vers les forts taux de chlore.

La présence particulière des nitrites pourrait également conduire à un mécanisme complexe qui ne se limite pas à la formation de nitrates par action

de HOCl. La formation d'entités intermédiaires telles que ClNO₂ implique les possibles mécanismes de chloration, nitratisation et de dimérisation avec formation de chlorotyrosine, nitrotyrosine et de dityrosine. La présence de nitrites pourrait aussi influencer la dégradation des chloramines et notamment celle de la monochloramine (Eiserich et al, 1996).

CONCLUSION

L'objectif de notre travail était d'apprécier l'effet des nitrites sur la réactivité d'un acide aminé aromatique qui est la Tyrosine au cours de la chloration dans des eaux de surface (eau de barrage d'Ain Dalia).

Les essais de chloration de ce composé dissous dans l'eau testée ont montré que la tyrosine est fortement consommatrice du chlore.

Les potentiels de consommation en chlore après 24 heures ont montré l'influence du milieu de dilution de la tyrosine. En présence de nitrites, la consommation en chlore dans l'eau de barrage est apparue inférieure à celle observée en eau distillée et en eau de barrage non dopée par les nitrites. Les nitrites joueraient le rôle d'un agent inhibiteur de la chloration. La composition de la matrice minérale et organique de l'eau et surtout les proportions relatives en éléments promoteurs et inhibiteurs de la consommation en chlore peuvent compliquer le schéma des réactions du chlore avec la tyrosine et limiter sa réactivité.

Les cinétiques en eaux de barrage montrent deux étapes distinctes (rapide et lente) dans la consommation en chlore. En faisant varier les taux de chlore introduit, le chlore résiduel a évolué selon des courbes de break point mais qui était plus prononcé dans le cas de l'eau de barrage sans nitrites.

Les nitrites pourraient avoir une influence sur la cinétique des réactions de chloration de la tyrosine et la dégradation des chloramines avant le break-point.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR S. (2001), Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tizi-Ouzou. 231p.
- ACHOUR S., BENTAHAR H.D., KHELILI H.(2016), Action de l'hypochlorite de sodium sur la consommation en chlore de l'acide gallique dans des eaux naturelles, Larhyss Journal, , n°25, pp. 309-322

- ACHOUR S., CHABBI F. (2014), Disinfection of drinking water-Constraints and optimization perspectives in Algeria, Larhyss Journal, 19, pp.193-212.
- 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, pp. 649-668.
- ALOUINI Z. (1987), Contribution à l'étude des réactions du chlore avec les principales molécules azotées contenues dans les eaux, Thèse de docteur de l'université de Rennes, France.
- DE LAAT J., MERLET N., DORE M. (1982), Chloration de composés organiques: Demandes en chlore et réactivité vis-à-vis de la formation de THM, Wat. Res., 16, pp.1437-1450.
- DESJARDINS R. (1997), Le traitement des eaux, Ed Ecole polytechnique de Montréal, Canada.
- DORE M. (1989), Chimie des oxydants- Traitement des eaux, Ed. Lavoisier, Paris.
- DOSSIER BERNE F., MERLET N., CAUCHI B., LEGUBE B. (1996), Evolution des acides aminés et de la matière organique dissoute dans une filière de production d'eau potable: Corrélations avec le carbone organique dissous biodégradable et le potentiel de demande en chlore à long terme, Rev. Sci. Eau, 9, 1, pp.115-133.
- EISERICH J.P., CARROLL E. CROSS, A. DANIEL JONES, BARRY HALLIWELL, AND A. VAN DER VLIET (1996), Formation of Nitrating and Chlorinating Species by Reaction of Nitrite with Hypochlorous Acid , The journal of biological chemistry, Vol. 271, No. 32, August 9, pp. 19199–19208,
- GAO H.B.(1999), Organic Chemistry. High Education Press, Beijing.
- GUERGAZI S., ACHOUR S. (2005), Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration, Larhyss Journal, n° 4, pp.119-127.
- HELLAL A. (2008), Incidence de la minéralisation des eaux sur la chloration de la phénylalanine, Mémoire de magister, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie.
- HONG H ., XIONG Y., RUAN M., LIAO F., LIN H., LIANG Y. (2013), Factors affecting THMs, HAAs and HNMs formation of Jin Lan Reservoir water exposed to chlorine and monochloramine, Science of the Total Environment, 444 , pp.196–204
- HONG H., QIAN L., XIAO Z., ZHANG J., CHEN J., LIN H., YU H., SHEN L., LIANG Y. (2015), Effect of nitrite on the formation of halonitromethanes during chlorination of organic matter from different origin, Journal of Hydrology, 531, pp.802–809.
- HU J., SONG H., KARANFIL T. (2010b), Comparative analysis of halonitromethane and trihalomethane formation and speciation in drinking water: the effects of disinfectants, pH, bromide, and nitrite. Environ Sci Technol, 44, pp. 794–9.

- HUREIKI L., CROUÉ J.P., LEGUBE B. (1994), Chlorination studies of free and combined amino acids, *Wat. Res*, 28, 12, pp.2521- 2531.
- KEMMER F.N. (1984), *Manuel de l'eau*, Ed. Technique et documentation, Lavoisier, Paris.
- LE CURIEUX F., MARZIN D., BRICE A., ERB F. (1996), Utilisation de trois tests de génotoxicité pour l'étude de l'activité génotoxique de composés organohalogénés, d'acides fulviques chlorés et d'échantillons d'eaux en cours de traitement de potabilisation, *Rev. Sci. Eau*, 9, 1, pp. 75-95.
- MOLES J. (2007), *Eaux de distribution – Désinfection*, W5500. Techniques de l'ingénieur. Edition T.I. Paris.
- OUNOKI S., ACHOUR S. (2011), Réactivité de la tyrosine au cours de la chloration et de la floculation par la combinaison sulfate /charbon actif en poudre, *Courrier du Savoir Scientifique et Technique*, 11, pp. 101-105.
- RICHARDSON S.D., PLEWA M.J., WAGNER E.D, SCHOENY R, DEMARINI D.M. (2007), Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutat Res*, 636, pp. 178–242.
- RODIER J. (2005). *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, 8ème édition, Ed. DUNOD, Paris.
- RUSHIN J.C., EDWARDS M. (2004), Effect of aluminium solids and chlorine on cold water pitting of copper, *Corrosion Science*, volume 46, pp. 3069–3088.
- SADIQ R, RODRIGUEZ M.J. (2004), Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review. *Sci Total Environ*, 321, pp: 21–46.
- SEVE M. (2011), *Les acides amines: Propriétés Physicochimiques*, Chapitre 2, Université Joseph, Fourier de Grenoble, France, 29 p.
- SHAH A.D., MITCH W.A. (2012), Halonitroalkanes, halonitriles, haloamides, and Nnitrosamines: a critical review of nitrogenous disinfection byproduct formation pathways. *Environ. Sci. Technol*, 46, 1, pp. 119–131.
- SHAN J., HU J., KAPLAN-BEKAROGLU S.S., SONG H., KARANFIL T. (2012), The effects of pH, bromide and nitrite on halonitromethane and trihalomethane formation from amino acids and amino sugars. *Chemosphere*, 86, pp. 323–8.
- SONG H., ADDISON J.W., HU J., KARANFIL T. (2010), Halonitromethanes formation in wastewater treatment plant effluents, *Chemosphere*, 79, 2, pp. 174–179.
- WHO (2000), *Environmental health criteria 216: disinfectants and disinfectant by-products*. Geneva: World Health Organization, Switzerland.