



ELIMINATION DE L'ANILINE PAR LE SULFATE D'ALUMINIUM ET EFFET DES SELS MINERAUX

REMOVAL OF ANILINE BY ALUMINUM SULPHATE AND INORGANIC SALTS EFFECT

AFOUFOU F.¹, ACHOUR S.²

⁽¹⁾ Département d'hydraulique, Université de Batna2, Algérie

⁽²⁾ Laboratoire LARHYSS, Université de Biskra, Algérie.

f.foufou@univ-batna2.dz

RESUME

Le présent travail a pour but d'étudier l'élimination de l'aniline par floculation au sulfate d'aluminium ainsi que l'incidence de la minéralisation d'une eau. A partir des essais de Jar-test, l'influence de différents paramètres réactionnels tels que la dose de coagulant, l'effet du pH, la concentration initiale du composé organique est testée. Les résultats montrent que l'aniline présente des rendements d'élimination non négligeables, plus importants à des pH très acides, en eau distillée.

Cependant, l'ajout de sels minéraux dans l'eau distillée n'améliore que peu la réaction et peut même détériorer les rendements pour les fortes teneurs en sels. Au cours de la dilution de l'aniline dans des eaux souterraines de minéralisations différentes, l'efficacité de la floculation de l'aniline a semblé peu affectée et même amoindrie au fur et à mesure que la dureté des eaux augmentait.

Nos essais ont mis en évidence la complexité des mécanismes mis en jeu lorsqu'on doit prendre en compte les différentes interactions pouvant survenir aussi bien entre les diverses espèces hydrolysées de l'aluminium et les constituants minéraux et organiques de l'eau, ainsi que les interactions matière organique / éléments minéraux.

Mots-clés : Aniline ; Coagulation-floculation ; Sulfate d'aluminium ; Sels minéraux ; Mécanismes

ABSTRACT

The aim of this work is to study the removal of aniline by coagulation-flocculation with aluminum sulphate and effect of the water mineralization. The influence of various reaction parameters such as the coagulant dose, pH and initial concentration of the organic compound is tested by Jar test trials. The results show that the aniline has significant removal efficiencies, greater at very acidic pH in distilled water.

However, the addition of inorganic salts in distilled water improves only slightly the reaction and may even deteriorate yields for high salt contents.

When aniline is dissolved in groundwater with various mineralizations, the efficiency of aniline flocculation appeared to be little affected and even lessened as water hardness increased. Our tests have demonstrated the complexity of the mechanisms involved when considering the different interactions that may occur between the various hydrolysed species of aluminium and the mineral and organic constituents of the water and the interactions between them.

Keywords: Aniline; Coagulation-flocculation; Aluminum sulphate; inorganic salts; Mechanisms.

INTRODUCTION

Etant donné les besoins grandissants et l'insuffisance des réserves souterraines, les eaux de surface sont de plus en plus utilisées ces dernières années (Harrat et Achour, 2016). La plupart de ces eaux contiennent des matières organiques provenant de la vie végétale et animale.

La matière organique n'est pas identifiée par les normes de qualité d'eau de boisson, mais elle participe d'une manière prépondérante aux valeurs des paramètres, couleur, oxydabilité au KMnO_4 , sous-produits organiques de désinfection, odeurs, et saveurs (Petitjean et al., 2004). Elle constitue un milieu très hétérogène, comprenant des molécules à structures très complexes de masse moléculaire élevée mais aussi des composés organiques simples (Thurman, 1985). En raison de l'industrialisation qui s'est développée de façon intensive au cours des siècles derniers, il en résulte l'apparition de produits nouveaux et nombreux composés issus de la chimie de synthèse et largement utilisés dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et autres industries para chimiques (Zaviska, 2011).

Parmi ces composés, les amines aromatiques font, de nos jours, l'objet d'un usage significatif. Les amines aromatiques constituent une classe de composés organiques simples qui dérivent d'hydrocarbures de la série aromatique tels que le benzène. Ils sont utilisés principalement comme intermédiaires dans la fabrication des colorants et des pigments (OIT, 2004). Parmi ces derniers, on peut citer l'aniline. Cette substance huileuse et incolore intervient dans la fabrication de polyuréthane, de teintures, de médicaments, d'explosifs, et de produits chimiques photographiques et en caoutchouc. Elle est très toxique pour l'homme comme pour l'environnement. Son inhalation, son ingestion ou son contact avec la peau à fortes doses peut être mortel (Valot et al, 1999).

Il paraît donc essentiel d'éliminer au mieux ces composés organiques toxiques responsables de l'instabilité de la qualité de l'eau dans le temps (Achour, 2001). La floculation apparaît de plus en plus comme non seulement un procédé de clarification mais également comme un traitement d'élimination spécifique capable, dans une certaine mesure de rivaliser avec des traitements plus coûteux comme l'adsorption sur charbon actif ou l'oxydation par l'ozone (Degrémont, 2005).

À part les pesticides, quelques travaux ont été consacrés à la réaction de composés organiques à faible masse moléculaire avec les coagulants usuels (Lefebvre et Legube, 1993 ; Rahni, 1994 ; Achour et Guesbaya, 2005 ; Hecini et Achour, 2017). Divers mécanismes réactionnels sont proposés pour expliquer les interactions entre les formes hydrolysées du réactif coagulant et la matière organique (Achour, 2001 ; Bacha et Achour, 2013a ; Lefebvre et Legube, 1993). Cependant, la plupart de ces travaux ont été conduits dans des milieux de dilution de force ionique très faible, voire nulle et surtout en eau distillée.

Toutefois, certains travaux ont pu montrer que les sels minéraux, par des effets individuels ou synergiques, pouvaient influencer l'efficacité de la floculation de la matière organique aquatique (Bernhardt et al., 1986; Achour et Guesbaya, 2006 ; Hecini et Achour, 2014).

L'objectif de notre travail est d'observer l'efficacité de la floculation par le sulfate d'aluminium sur l'élimination de l'aniline, l'influence de la minéralisation et des divers paramètres réactionnels sur les rendements d'élimination.

Dans un premier temps, l'expérimentation a eu pour objectif d'étudier la floculation de l'aniline dissoute dans l'eau distillée seule, puis dopée par des sels minéraux souvent présents en fortes concentrations dans les eaux.

Dans un second temps, les essais ont porté sur des solutions d'aniline dissoute dans des eaux souterraines avec des degrés de minéralisation variable.

MATERIEL ET METHODES.


Tous les essais ont été réalisés au niveau du laboratoire LARHYSS (Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface) de l'université de Biskra.

Produits et milieux de dilution.

Le coagulant utilisé est le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Une solution mère de 10 g/l est préparée périodiquement.

L'aniline est un composé organique aromatique dérivée du benzène, toxique pour l'homme et l'environnement. Il se présente sous forme d'une solution colorée dont les caractéristiques sont les suivantes (tableau 1) :

Tableau 1 : Caractéristiques de l'Aniline

Masse molaire	Formule moléculaire	Densité	Pureté	Structure chimique
93,13 g/mole	$C_6H_5NH_2$	1,022	99 %.	

Les sels considérés sont les suivants : $CaCl_2$, $CaSO_4$, $CaCO_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $NaCl$ et Na_2SO_4 .

Les milieux de dilution sur lesquels nous avons réalisé nos essais sont :

- L'eau distillée d'une conductivité de 3 à 5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et un pH de 6 à 7.
- Une eau commercialisée en bouteilles, l'eau de Youkous provenant de la wilaya de Tébessa.
- Une eau provenant d'un puits de la ville de Bouhmama, wilaya de Khenchela.
- Une eau de forage prélevée dans un champ captant d'oued Biskra (wilaya de Biskra).

Quelques caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Principales caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution testées.

<i>Eau</i>	<i>Youkous</i>	<i>Bouhmama</i>	<i>Biskra</i>
pH	7,95	7,40	7,59
Minéralisation (mg/l)	317,86	833,64	3534,81
TH (°F)	36	97,2	180
TAC (°F)	13	24	7
Ca ²⁺ (mg/l)	114	310,46	590
Mg ²⁺ (mg/l)	18	47	78
Na ⁺ (mg/l)	14	87,81	388,64
Cl (mg/l)	53,25	95,85	1267,35
SO ₄ ⁻² (mg/l)	24	266	800

Méthodes de dosage.

Les diverses caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution ont pu être déterminées selon les méthodes standards d'analyse (Rodier et al, 2009).

Le dosage de l'aniline a été réalisé sur un spectrophotomètre UV visible de type «Spectrophotometer Jenway 6405 UV/VIS » à une longueur d'onde $\lambda = 280$ nm.

Les éléments minéraux ont été dosés par colorimétrie à l'aide d'un photomètre du type " PALINTEST PHOTOMETER 5000".

Description des Essais de floculation "jar-test".

La floculation des composés organiques a été réalisée selon le protocole de «jar-Test». Le matériel d'essai est constitué par un floculateur à 6 agitateurs (floculateur Fisher 1198) avec une vitesse de rotation individuelle variant entre 0 et 200 tr /min. Les conditions d'agitation pour lesquels nous avons opté sont : 3 minutes d'agitation rapide avec une vitesse égale à 200 tours /min, 30 minutes d'agitation lente avec une vitesse égale à 60 tours / min.

Dans le but de mettre en évidence l'effet du taux de coagulant sur le pourcentage d'élimination, nous avons tenté d'examiner la floculation en eau distillée de quantités variables d'aniline par des doses croissantes de sulfate d'aluminium.

Dans un second temps, des solutions contenant une concentration fixe d'aniline (5 mg/l), et des teneurs variables en sels minéraux, ont été coagulées par une dose constante de sulfate d'aluminium correspondant à celle aboutissant au meilleur rendement. Notons que, dans tous les cas, un bêcher témoin, sans ajout de sel a été introduit.

De même qu'en eau distillée, en eaux minéralisées testées, les essais de floculation sont réalisés dans les mêmes conditions.

RESULTATS ET DISCUSSION

Influence de la dose de coagulant en eau distillée

Au cours de cette étape de l'étude, les essais de floculation sont conduits sur une solution synthétique contenant une concentration constante d'aniline (5 mg/l) en eau distillée (pH non ajusté). Des doses croissantes de sulfate d'aluminium sont introduites dans les différents béchers.

La figure 1 présente les résultats obtenus. Nous pouvons constater que le rendement d'élimination de l'aniline s'améliore avec l'augmentation de la dose de coagulant jusqu'à une valeur optimale de coagulant, à partir de laquelle le rendement reste constant. Cette stabilité est due probablement aux mécanismes de coagulation prédominants, qui seraient essentiellement des mécanismes de surface, représentés par une complexation avec les espèces hydrolysées cationiques ou anioniques de l'aluminium aboutissant à des formes organoaluminiques solubles ou insolubles selon le pH des solutions et selon la structure du composé organique (Rezeg et Achour, 2009). Les faibles rendements d'élimination de l'aniline observés par rapport aux rendements d'élimination des substances humiques (Afoufou et al, 2007), peuvent être expliqués probablement par la nature du composé étudié, à savoir son état dissous ainsi que sa faible masse moléculaire et dimensions. Dans notre cas, la présence de la fonction amine et les faibles taux d'élimination de ces composés – par rapport aux SH - peuvent nous inciter à penser que les structures $-NH_2$ sont peu affectés par la floculation (Hecini et Achour, 2017), tout au moins dans nos conditions expérimentales.

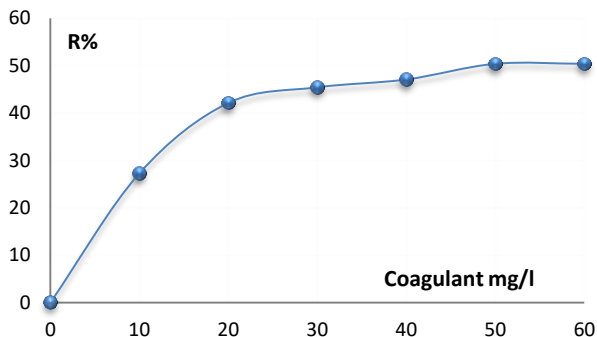


Figure 1 : Influence de la dose de coagulant sur l'élimination de l'Aniline en eau distillée, [Aniline] = 5 mg/l.

Influence du pH sur la floculation de l'aniline

Cette phase de l'étude a pour but d'apprécier l'influence du pH sur l'élimination de l'aniline (5 mg/l) en eau distillée. L'étude du paramètre pH s'avère importante du fait qu'il conditionne d'une part la dissociation des groupements fonctionnels existant dans la structure des composés organiques et d'autre part la spéciation du coagulant (forme solubles ou insolubles, chargées ou neutres) (Achour, 2001 ; Achour et Guesbaya, 2005). La dose de sulfate d'aluminium introduite correspond à la dose optimale déjà déterminée au cours de l'étape précédente. L'ajustement du pH (de 2 à 9) a été réalisé durant la phase d'agitation rapide.

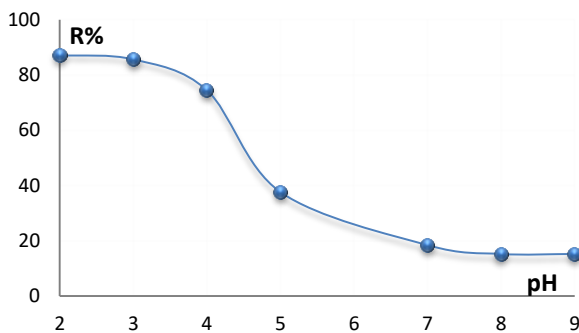


Figure 2 : Influence du pH sur les rendements d'élimination de l'Aniline en eau distillée, [Aniline] = 5 mg/l.

La figure 2 récapitule les résultats obtenus et présente l'évolution du rendement d'élimination en fonction du pH initial des solutions.

Nous pouvons observer que l'optimum de l'élimination de l'aniline correspond à des pH très acides. Il faut remarquer qu'à pH optimal, l'amélioration des rendements est appréciable. Ainsi, la valeur du rendement optimal passe de 50,41% à pH non ajusté à 87,2 % à pH = 2. A pH inférieur à 4,5, l'ion Al^{3+} prédomine et il devient la seule forme d'aluminium existante à pH plus bas (pH inférieur à 3) (Desjardins, 1997). Sachant que le pK de déprotonation de l'ion anilinium est de l'ordre de 4,6, il semble que la forme neutre de l'aniline soit mieux bien éliminée que la forme ionique. A pH acides, la formation de complexes aniline-ionilinium serait également possible et pourrait aboutir à une forme plus facilement éliminable (Essington et al, 1992). Les mécanismes prédominants seraient alors la formation de complexes avec l'aluminium qui pourraient aboutir à des précipités. Quant aux pH basiques, la faible élimination s'expliquerait essentiellement par la répulsion entre les formes anioniques aluminiques et la complexation des ions OH^- en solution avec l'aniline.

Influence de la concentration initiale.

Pour apprécier l'effet d'une variation de la concentration initiale, nous avons examiné la floculation de concentrations croissantes de l'aniline (2 à 10 mg/l). La floculation de ces solutions par le sulfate d'aluminium nous a permis d'obtenir les résultats illustrés par la figure 3.

Nous pouvons constater que plus la dose du coagulant augmente, et plus le pourcentage d'élimination est important, pour toutes les concentrations de l'aniline. En fait, au pH de l'eau distillée, l'hydrolyse du sulfate d'aluminium peut mener non seulement à des espèces cationiques de l'aluminium mais aussi à la formation de $Al(OH)_3$, qui pourrait adsorber l'aniline. Toutefois, les mécanismes de complexation avec les formes cationiques des espèces hydrolysées de l'aluminium seraient prédominants compte tenu du pH non ajusté de l'eau distillée (pH final de l'ordre de 4 à 5). De plus, pour une dose de coagulant constante, les rendements augmentent avec la concentration initiale de l'aniline. Toutefois, aucune stœchiométrie évidente n'a pu être établie dans le cadre de ces essais.

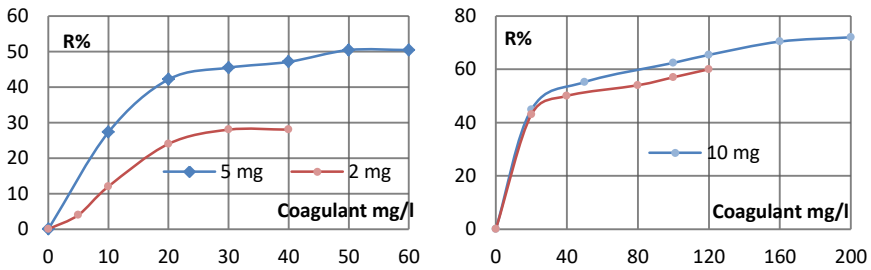


Figure 3 : Rendements d'élimination de l'Aniline à différentes concentrations et en fonction de la dose de coagulant.

Cependant, comparés aux substances humiques (Afoufou et Achour, 2004), les composés organiques à faibles masses moléculaires et dissous sont généralement faiblement éliminés quelles que soient la dose de coagulant et la concentration initiale du composé. C'est en particulier le cas de la plupart des composés phénoliques tels que le phénol et le résorcinol (Achour et Guesbaya, 2005). Le comportement de l'aniline vis-vis du sulfate d'aluminium serait ainsi intermédiaire entre celui des substances humiques et celui de composés phénoliques monosubstitués.

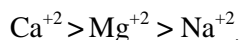
Influence de la minéralisation des eaux sur la floculation de l'aniline.

Floculation de l'aniline en eau distillée dopée en sels minéraux spécifiques

Cette phase d'étude a pour but de tester l'effet de divers sels minéraux ($CaCl_2$, $CaSO_4$, $CaCO_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $NaCl$ et Na_2SO_4), pris individuellement, sur l'élimination de l'aniline. La figure 4 permet de visualiser les effets variables des sels minéraux testés sur l'élimination de l'aniline.

Les ions calcium et magnésium introduits entraînent une faible amélioration du rendement d'élimination, qui commence à diminuer pour les fortes teneurs en sels. Pour d'expliquer cette diminution, on peut suggérer que l'effet inhibiteur des anions (Cl^- et SO_4^{2-}) prend de l'importance, ce qui va se traduire par une diminution du potentiel Zêta et un déplacement du point isoélectrique.

Dans le cas du sodium l'effet inhibiteur des anions (Cl^- et SO_4^{2-}) pourrait être prépondérant par rapport à l'amélioration que pourrait apporter un cation tel le sodium. Nous pouvons observer ainsi un effet promoteur des cations testés dans cet ordre :



Les anions testés ont un effet inhibiteur qui varie selon l'ordre :



Les résultats concordent avec les travaux déjà réalisés au laboratoire (Achour et Guesbaya, 2006 ; Rezeg et Achour, 2009 ; Hecini et Achour, 2014), et avec les recherches de certains auteurs (Bernhardt et al, 1986 ; Mazet et Wais Mossa, 1991), et qui se sont surtout intéressé à l'effet bénéfique des ions calcium.

Concernant les mécanismes qui peuvent intervenir lors de la floculation de l'aniline, en présence des sels, il peut y avoir :

Adsorption des cations, notamment le calcium sur les floes d'hydroxyde ce qui aboutit à la création de nouveaux sites d'adsorption.



Formation de complexes (calcium – matières organiques) insolubles.

En revanche, l'addition des anions sulfates et bicarbonates conduisent à un abaissement de la charge de surface des hydroxydes métalliques (Letterman et al, 1979 ; Letterman et al, 1983 ; Achour, 2001).

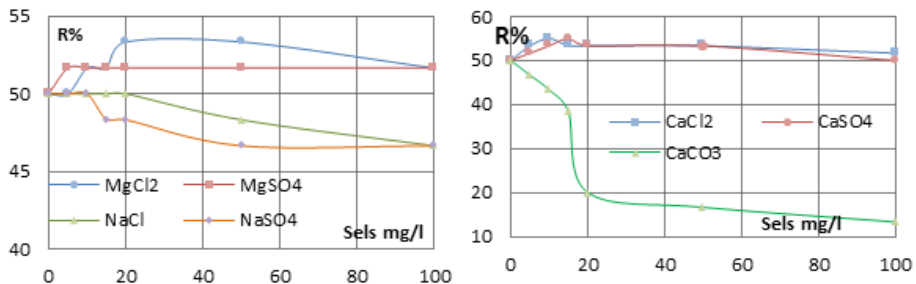


Figure 4 : Influence de la teneur en sels minéraux sur l'élimination de l'Aniline en eau distillée, [Aniline] = 5 mg/l.

Floculation de l'aniline dans des eaux naturelles minéralisées

Le but de cette étape est d'évaluer les pourcentages d'élimination de l'aniline dissoute dans des eaux souterraines minéralisées. Les essais de floculation réalisés sur les différents types d'eaux minéralisées testées nous ont permis d'aboutir aux résultats illustrés sur la figure 5.

Nous pouvons remarquer que l'aniline est faiblement à moyennement abattue par floculation, et qu'il n'y a pas une variation notable du rendement en

fonction de la dose de coagulant. Il est à noter qu'une meilleure élimination est obtenue avec l'eau de Youkous, moins minéralisée que les deux autres eaux. En effet une dose de 150 mg/l de sulfate d'aluminium induit 43,51 % d'abattement de l'aniline.

Nous pouvons lier la faible élimination de l'aniline à la structure de l'aniline et à la plus ou moins grande dissociation de l'ion anilinium aux pH des essais (De l'ordre de 7 à 8) qui correspondent aux pH naturels des eaux. Notons toutefois que le rendement s'améliore pour les fortes doses de coagulant (évolution du pH vers la gamme acide).

Les pourcentages d'élimination varient d'une eau à l'autre selon l'ordre suivant : E. Youkous > E. Bouhmama > E. Biskra.

En ce qui concerne la dose optimale de coagulant, chaque eau, selon ses caractéristiques chimiques et notamment sa minéralisation, a sa dose optimale à partir de laquelle le rendement se stabilise. Le tableau 3 récapitule les résultats optima de ces essais.

Tableau 3 : Rendements d'élimination de l'aniline et doses optimales de coagulant pour différents milieux de dilution, [Aniline] = 5 mg/l.

<i>Eaux</i>	<i>Dose optimale (mg/l)</i>	<i>R% optimal</i>
Biskra	40	4,84
Bouhmama	25	31,42
Youkous	150	43,51

En se référant aux caractéristiques des eaux étudiées (cf. tableau 1), il semble que la variation du rendement pourrait dépendre de la minéralisation de l'eau en se référant surtout aux paramètres tels que la minéralisation totale ou la dureté. Il est également permis de supposer l'influence de plusieurs paramètres minéraux d'une façon simultanée.

Cela peut être justifié par les résultats d'autres études récentes qui ont montré que certains éléments minéraux ont un effet inhibiteur lors de la floculation des substances humiques tels que les sulfates et les chlorures (Achour, 2001 ; Bacha et Achour, 2013b). D'autres ont un effet promoteur tels que les éléments participant à la dureté totale, et en particulier le calcium (Jekel, 1986 ; Wais-Mossa et Mazet, 1991). Ce dernier représente 37,24% de la minéralisation totale de l'eau de Bouhmama, 35,86% pour l'eau de Youkous, tandis qu'il ne représente que 16,7% de la minéralisation totale de l'eau de Biskra. Le faible

rendement de cette dernière eau par rapport aux autres eaux est dû aussi à la présence excessive des éléments inhibiteurs (les chlorures = 35,85%, les sulfates = 22,63%). C'est cette hypothèse même qui permet d'expliquer le fait qu'à rendement égal, le taux de coagulant diminue au fur et à mesure que le pourcentage d'éléments participant à la dureté totale augmente (Achour et Guesbaya, 2006).

Toutefois, l'influence reste très limitée et ce probablement à cause de l'intervention d'ions inhibiteurs tels que les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

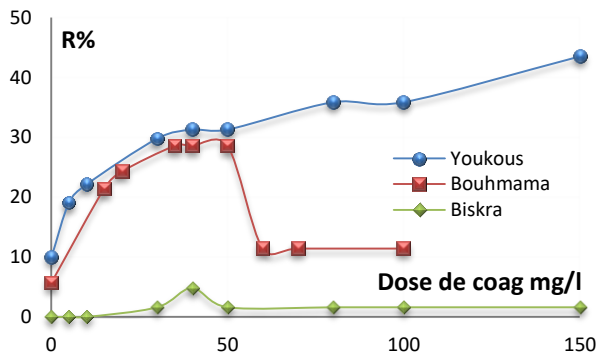


Figure 5 : Rendements d'élimination de l'aniline en fonction de la dose de coagulant en eaux minéralisées, [Aniline] = 5 mg/l.

CONCLUSION

L'objectif de notre étude était d'observer l'efficacité du sulfate d'aluminium dans l'élimination de l'aniline par floculation et d'apprécier l'influence de la minéralisation des eaux de dilution.

En eau distillée, les résultats obtenus ont indiqué que l'aniline présente des rendements d'élimination non négligeables comparée à d'autres composés simples tels que les phénols. L'élimination optimale est apparue pour un pH très acide. Cependant, l'ajout de sels minéraux n'affecte que peu la réaction et peut même détériorer les rendements pour les fortes doses de sels.

De la même manière qu'en eau distillée, des essais de floculation de l'aniline ont été réalisés dans plusieurs eaux souterraines. Les essais ont montré qu'une minéralisation croissante du milieu pouvait notablement influencer le procédé.

La floculation de l'aniline aboutit en eaux minéralisées à des rendements moindres qu'en eau distillée, et notamment en présence d'une dureté considérable. La présence de la fonction amine dans la structure de l'aniline pourrait avoir un effet inhibiteur sur la floculation de ce composé en eaux minéralisées.

Nos essais ont mis en évidence la complexité des mécanismes mis en jeu lorsqu'on doit prendre en compte les différentes interactions pouvant survenir aussi bien entre les diverses espèces hydrolysées de l'aluminium et les constituants minéraux et organiques de l'eau ainsi que les interactions matière organique / éléments minéraux.

Différents phénomènes peuvent se produire soit simultanément, soit compétitivement et pourront englober plusieurs types de réactions de complexation, de précipitation ou d'adsorption entre les différentes entités.

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'état, Université de Tizi-Ouzou, Algérie, 231p.
- ACHOUR S., GUESBAYA N. (2005). Coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et de substances humiques, Larhyss Journal, n°4, pp.153-168.
- ACHOUR S., GUESBAYA N.(2006). Essais de floculation de substances humiques en milieu aqueux minéralisés, Larhyss Journal, n°5, pp.171-178.
- BACHA N., ACHOUR S. (2013a). Influence de paramètres réactionnels sur la stœchiométrie sulfate d'aluminium/ acide pyromellitique en eau distillée, Larhyss Journal, n°13, pp.109-123.
- BACHA N., ACHOUR S. (2013b). Influence de paramètres réactionnels sur la stœchiométrie sulfate d'aluminium/acide humique dans des eaux de minéralisation variable, Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE, Ouargla, 5-7 Novembre, Algérie, pp.76-82.
- AFOUFOU F., ACHOUR S. (2004). Incidence du procédé combiné préchloration-floculation sur l'élimination des substances humiques, LARHYSS Journal, n°3, pp. 63-73.
- AFOUFOU F., GUESBAYA N., ACHOUR S. (2007). Effet de la minéralisation des eaux naturelles sur l'élimination de composés organiques aromatiques par coagulation-floculation, Courrier du Savoir, n°8, pp.75-81.

- BACHA N., ACHOUR S. (2013b). Influence de paramètres réactionnels sur la stœchiométrie sulfate d'aluminium/acide humique dans des eaux de minéralisation variable, *Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE*, pp.76-82, Ouargla, 5-7 Novembre, Algérie
- BERNHARDT H., HOYER O., LUSSE B. (1986). The addition of calcium to reduce the impairment of flocculation by algogenic organic matter, *zeitschrift fuer wasser- und abwasser- forschung*, vol.19, issue 6, pp.219-228
- DEGREMONT (2005). *Mémento technique de l'eau*, Tomes 1et 2, 10^{ème} Ed., Ed. Eyrolles, Paris, 1718p.
- DESJARDINS R. (1997). *Le traitement des eaux*, 2^{ème} Ed., Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal, Canada, 304p.
- ESSINGTON M.E., BOWEN J.M., WILLS R.A, HART B.K. (1992). Adsorption of aniline and toluidines on montmorillonite: implications for the disposal of shale oil production wastes, *Topical Report DOE/MC/11076-3198*, Western Research Institute, University of Wyoming, USA.
- FRANCESCHI M., GIROU A., PUECH-COSTES E. (2002). Optimization of the coagulation-flocculation process of raw water by optimal design method, *Water Research*, Vol.36, Issue 14, pp.3561-3572.
- HARRAT N., ACHOUR S. (2016). Comportement de substances humiques de l'eau du barrage Zit El Amba au cours de la coagulation-flocculation en présence de sulfate d'aluminium et de charbon actif, *Larhyss Journal*, n°26, pp.149-165.
- HECINI L., ACHOUR S. (2017). Essais et mécanismes de flocculation de la phénylalanine et du catéchol en présence du sulfate d'aluminium, *Larhyss Journal*, n°29, pp.341-354.
- HECINI L. et ACHOUR S. (2014). Coagulation-flocculation au sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et effet de sels de calcium et de magnésium, *Rev. Sci. Eau / Journal of Water Science*, Vol. 27, Issue 3, pp.271-280.
- JEKEL M.R. (1986). Interactions of humic acids and aluminium salts in the flocculation process. *Water Research*, Vol. 20, Issue12, pp.1535-1542.
- LEFEBVRE E., LEGUBE B. (1993), Coagulation-flocculation par le chlorure ferrique de quelques acides et phénols en solution aqueuse, *Water Research*, Vol.27, Issue 3, pp.433-447.
- LETTERMAN R.D., TABATABAIE M., AMES R.S.JR (1979). The effect of bicarbonate ion concentration on flocculation with Al sulfate, *Journal of American Water Works Association*, Vol.71, Issue 8, pp.467-472.
- LETTERMAN R.D., VANERBROOK S.G. (1983). Effect of solution chemistry on coagulation with hydrolyzed Al (III) signification of sulfate ion and pH, *Water Research*, Vol.17, Issue 2, pp.195-204.

- O.I.T. (2004). Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, « Propriétés des amines aromatiques et de leurs dérivés ». 3^{ème} édition française, Organisation Internationale du Travail, Genève, 4000 p.
- PETITJEAN P., HENIN O., GRUAU G. (2004). Dosage du carbone organique dissous dans les eaux douces naturelles. Intérêt, principe, mise en œuvre et conditions opératoires, Cahiers Techniques de Géosciences Rennes, n°3, Rennes, France, 48p.
- RAHNI M. (1994). Coagulation-floculation de quelques composés organiques par le fer ferreux en milieu aqueux : Etude de mécanismes et comparaison avec l'adsorption, Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 141p.
- REZEG A., ACHOUR S. (2009). Mécanismes d'élimination d'acides organiques aromatiques par le sulfate d'aluminium et effet de la minéralisation, Courrier du Savoir, n° 9, pp.25-31.
- 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.
- THURMAN E. M. (1985), Developments in biogeochemistry: Organic geochemistry of natural waters, Ed. Nijhoff M., Dr W. Junk Publishers, Dordrecht, Netherlands, 497p.
- VALOT H., ROIRE J., PETIT J. (1999). Encyclopédie de la peinture : formuler, fabriquer, appliquer, « Aniline ». t. 1, Puteaux, EREC, p.195
- WAIS-MOSSA M.T., MAZET M. (1991). Influence des sels minéraux sur l'adsorption des acides humiques sur floes d'hydroxydes de fer préformés, Environmental Technology, Vol.12, n° 8, pp.725-730.
- ZAVISKA F. (2011). Modélisation du traitement de micropolluants organiques par oxydation électrochimique. Thèse de Doctorat en sciences de l'eau, Université du Québec, Canada, 385 p.