



INCIDENCE DU PROCÉDE COMBINÉ PRÉCHLORATION - FLOCCULATION SUR L'ÉLIMINATION DES SUBSTANCES HUMIQUES

F. AFOUFOU, S. ACHOUR

*Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS),
Université de Biskra.
www.larhyss.org , info@larhyss.net*

RESUME

Le présent travail a pour but d'observer l'influence d'une préchloration sur l'élimination de la matière organique par coagulation-floculation au sulfate d'aluminium.

Sur des solutions synthétiques de substances humiques, la préoxydation pratiquée à fortes doses de chlore implique de mettre en œuvre une dose de coagulant plus élevée. De plus, le rendement d'élimination de la matière organique peut notablement diminuer.

L'effet promoteur d'éléments minéraux contenus dans les eaux n'améliore que légèrement les rendements d'élimination.

Une application du procédé combiné préchloration-floculation à une eau de surface algérienne, aboutit à des résultats similaires.

MOTS-CLES :

Coagulation-floculation, préchloration, substances humiques, minéralisation

I. INTRODUCTION

La démographie croissante, la mauvaise qualité des eaux souterraines, le développement de l'industrie et de l'agriculture dans les zones arides et semi-arides algériennes oblige à faire de plus en plus appel à des eaux d'origine 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.

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

Bien que le début du 21^{ème} siècle soit très probablement, dans le domaine du traitement des eaux de consommation, une période de développement des procédés à membranes, le traiteur d'eau devra encore utiliser pendant quelques décennies les filières traditionnelles existantes. Ces filières sont assemblées de manières diverses, en fonction de la qualité de l'eau brute et des exigences de potabilité qui tendent vers une plus grande sévérité en ce qui concerne les concentrations des matières organiques présentes dans les eaux. Cette charge organique est constituée en majorité par les substances humiques (THURMAN et MALCOM, 1983).

En Algérie, le matériel humique représente souvent une part non négligeable de la charge organique totale des eaux de surface, notamment dans des eaux de barrage, soit 60 à 90% du C.O.T de ces eaux (Achour et Moussaoui, 1993). Actuellement, il est bien connu que les substances humiques présentes dans toutes les eaux de surface, constituent les précurseurs majoritaires des THM et des TOX (ACHOUR et GUERGAZI, 2002).

Il est à présent admis que l'optimisation de la coagulation-floculation au cours de la clarification d'une eau de surface peut contribuer d'une façon notable à éliminer la matière organique aussi bien sous forme colloïdale (turbidité) que dissoute. Toutefois, peu d'études se sont intéressées à l'incidence des traitements en amont de cette floculation et notamment les procédés utilisés dans un but oxydatif et désinfectant. Dans leur revue bibliographique, LEFEBVRE et LEGUBE (1991) soulignent ainsi que l'effet des traitements d'oxydation sur la coagulation-floculation est peu étudié et n'est pas bien documenté. Parmi les oxydants les plus utilisés, le chlore a constitué pendant très longtemps l'oxydant universel. Il a une action germicide remarquable, un pouvoir d'oxydation très puissant et permet l'élimination de certains composés réducteurs tels que l'ammoniac (DORE, 1989).

Compte tenu du rôle joué par l'oxydation et la coagulation-floculation vis-à-vis de la matière organique, nous nous sommes intéressés dans ce travail à étudier l'incidence d'une préchloration sur l'élimination, par coagulation-floculation, de substances humiques représentatives de la charge organique d'une eau naturelle.

Dans un premier temps, l'expérimentation a eu pour objectif de tester l'incidence d'une préchloration sur la coagulation-floculation des SH en solutions synthétiques. Un intérêt tout particulier a été accordé à la composition des eaux de dilution des substances humiques.

Dans un second temps, une application du procédé combiné préchloration-coagulation-post-chloration est réalisée sur une eau de surface algérienne, afin

de comparer les résultats obtenus en solutions synthétiques à ceux observés au cours de cette application.

II. PROCEDURE EXPERIMENTALE

II.1 Préparation des solutions

Les substances humiques utilisées pour les besoins de notre étude portent le nom de «Natrium huminate»,

Les milieux de dilution des SH sur lesquelles nous avons réalisé nos essais sont l'eau distillée, une eau provenant d'un puits de la ville de Bouhmama, et 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 1.

Tableau 1 : Principales caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution testées.

Eau	Eau distillée	Bouhmama	Biskra
pH	6,4 à 6,8	7,40	7,59
Conductivité (µs/cm)	5	1099	4660
TH (°F)	0	97,2	180
TAC (°F)	0	24	3,5

Le coagulant utilisé est le sulfate d'aluminium, pour lequel une solution mère de 10 g/l est préparée.

Pour la chloration, nous avons utilisé une solution concentrée d'eau de javel, dont nous dosons la teneur en chlore avant chaque série d'essais.

II.2 Méthodes de dosage

Le dosage des substances humiques s'effectue à une longueur d'onde de 254 nm sur un spectrophotomètre UV-Visible de type "WPA LIGHT WAVE". Les teneurs résiduelles en substances humiques sont évaluées grâce à des courbes d'étalonnage de l'absorbance en fonction des concentrations en mg/l de SH pour chaque milieu de dilution.

Le chlore résiduel a été évalué par la méthode iodométrique (RODIER, 1996).

Le taux de chloration massique adopté est défini comme suit :

$$m = \text{mg de } Cl_2 \text{ introduit} / \text{mg SH}$$

Par ailleurs, il faut noter que diverses caractéristiques physico-chimiques des eaux de dilution ont pu être déterminées selon les méthodes standard d'analyse.

II.3 Description des essais

Après introduction des doses de chlore pouvant satisfaire les demandes des substances humiques ou d'eau de surface, les eaux sont floculées puis décantées.

La chloration des substances aqueuses a été réalisée par ajout de micro volumes de chlore dans des fioles à 100 ml d'échantillon. Après agitation, les fioles contenant les solutions sont maintenues à l'obscurité à 20°C.

La coagulation-floculation des SH a été réalisée selon le protocole de «jar-Test». Les conditions d'agitation sont les suivantes :

- Agitation rapide : 200 tr/min. pendant 2 minutes.
- Agitation lente : 60 tr/min. pendant 30 minutes.

Après décantation, les échantillons clarifiés prélevés permettent l'évaluation du rendement d'élimination des SH par :

$$R (\%) = \left(1 - \frac{C_f}{C_0} \right) \times 100$$

où :

C_0 : Concentration initiale; C_f : Concentration finale des SH en mg/l.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Effet d'une préchloration sur l'élimination des SH en eau distillée

L'objectif de cette première phase de l'étude est de comparer l'efficacité de la floculation en présence d'une étape préalable de chloration à celle en absence de toute chloration des eaux.

La figure 1 permet ainsi de constater qu'une préchloration tant d'une heure que de 24 heures induit une diminution des rendements d'élimination des SH floculées.

Une préchloration de 24 heures provoque par ailleurs un léger décalage de valeur de la dose optimale en coagulant (12 mg/l de coagulant contre 10 mg/l en absence de préchloration).

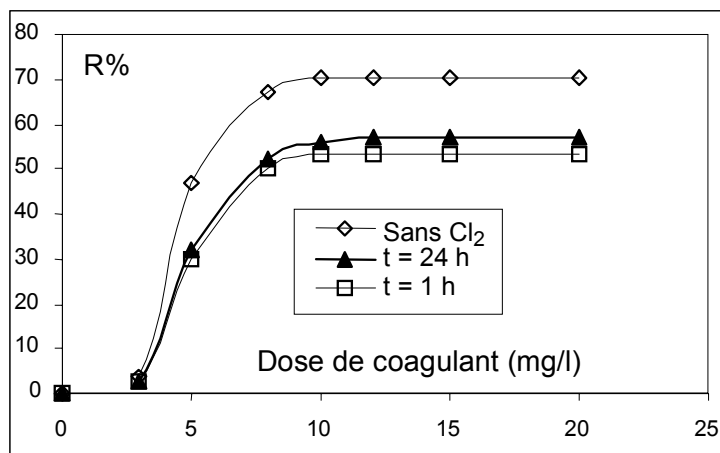


Fig. 1 : Effet de la préchloration sur la coagulation-floculation des SH (5 mg/l) en eau distillée. Cl₂ introduit = P.C.Cl₂, pH = 7.

L'efficacité de la floculation se trouve donc amoindrie lorsqu'une chloration est pratiquée avant cette étape.

En fait, l'action du chlore ou de l'ozone conduit à une diminution des masses moléculaires de la matière organique aquatique (HOYER et al, 1987; LEFEBVRE et LEGUBE, 1991).

L'action oxydative du chlore sur les SH produit ainsi des dérivés chlorés ou non chlorés tels les trihalométhanes (THM), des acides aromatiques ou aliphatiques (DORE, 1989; ACHOUR, 2001).

Les forts taux de chloration et les temps de réaction plus ou moins longs produisent en effet un clivage des polymères organiques en molécules plus petites. Les monomères formés peuvent être ensuite oxydés en acides mono ou dicarboxyliques.

La réduction de l'efficacité de la floculation des SH pourrait alors s'expliquer par la difficulté d'une partie des ions aluminium du coagulant à former des hydroxydes ou des humates d'aluminium insolubles.

Il y'aurait donc une augmentation de la formation de complexes organoaluminiques solubles. La polarité des produits de la chloration des SH pourrait également expliquer le fait que ces substances soient plus difficilement éliminables que les SH dont ils dérivent.

Par ailleurs, les dosages plus importants en coagulant après 24 heures de préchloration s'expliqueraient par une augmentation de la teneur en groupements carboxyliques.

Des travaux (VAN BREEMEN et al, 1979; LEFEBVRE et LEGUBE, 1990) avaient montré en effet le rôle des groupements COOH dans la stœchiométrie de la réaction de coagulation des SH par le fer ferrique ou l'aluminium.

Notons également que si la chloration des SH peut générer des quantités considérables de THM, la réaction de floculation n'a ensuite que peu d'effet sur leur élimination (Tableau 2) (ACHOUR, 2001).

Tableau 2 : Teneurs en THM au cours de différents traitements de solutions des SH en eau distillée (ACHOUR, 2001)

Type de traitement	CHCl ₃ (µg/mg SH)	CHCl ₂ Br (µg/mg SH)
Eau préchlorée	10,2	0,54
Eau préchlorée + floculée	8,3	0,42
Eau préchlorée + floculée + post-chlorée	9,3	0,50
Eau floculée + post-chlorée	2,09	0,14

III.2 Effet de la préchloration sur les eaux floculées et post-chlorées

Les résultats du tableau 2 montrent que les quantités d'organohalogénés et en particulier les THM sont susceptibles d'augmenter si l'on doit pratiquer une désinfection finale et donc une post-chloration.

Par contre, si nous supprimons la préchloration, nous constatons une réduction des THM formés après post-chloration. Cette suppression conduit également à des consommations en chlore plus faibles en fin de traitement. Le tableau 3 met ainsi en parallèle les rendements d'éliminations des SH et les demandes en chlore finales après 1 heure et 24 heures de temps de post-chloration.

Tableau 3 : Effet de la préchloration sur les demandes en chlore finales d'eaux floculées [SH] = 5 mg/l

	R% (SH)		PCCl ₂ (mgCl ₂ /l)	
	1 heure	24 heures	1 heure	24 heures
Eau floculée post-chlorée.	70,55	71,57	0,90	1,43
Eau préchlorée floculée post-chlorée.	53,60	55,80	1,81	2,16

Tout ceci rejoint parfaitement les données bibliographiques qui indiquent que la coagulation à l'aluminium, pratiquée avant chloration pouvait réduire la demande en chlore finale et diminuer le taux de chloroforme formé jusqu'à 70% (BABCOCK et SINGER, 1979) et ceci parallèlement à un abattement appréciable du carbone organique dissous (DOSSIER-BERNE et al, 1996).

III.3 Influence de la minéralisation des solutions de SH au cours des procédés combinés préchloration-floculation

La figure 2 présente les résultats de floculation des solutions minéralisées de SH et préalablement chlorées pour des temps de contact d'une heure et 24 heures.

D'une façon générale, les rendements d'élimination des SH sont plus importants en milieu minéralisé qu'en eau distillée.

L'augmentation de la minéralisation du milieu et notamment celle d'éléments minéraux tels le calcium ou le magnésium améliore l'élimination des SH par des effets de pontage ou de complexation (GUESBAYA et ACHOUR, 1998).

Cependant, de même qu'en eau distillée, une préchloration s'avère néfaste pour l'abattement de la matière organique au cours de l'étape de floculation.

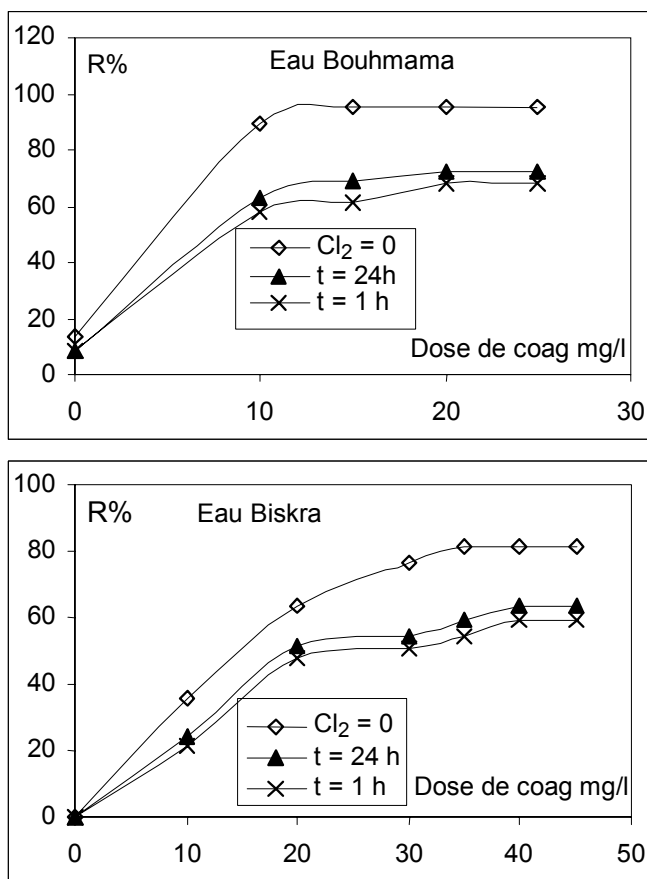


Fig 2 : Effet de la préchloration au cours de la floculation des SH (5 mg/l) en eaux minéralisées. Cl_2 introduit = P.C. Cl_2 .

Malgré le pH élevé des eaux testées, une augmentation de l'aluminium résiduel est notée, indiquant des teneurs plus grandes en formes solubles de l'aluminium. Ainsi, à l'issue de la floculation des SH dissoutes dans l'eau minéralisée, l'aluminium en solution passe de 0,07 mg/l en absence de préchloration, à une teneur de 0,25 mg Al/l en cas de préchloration de 24 heures. Néanmoins, du fait que les eaux de dilution des SH sont minéralisées et tamponnées, la formation de l'hydroxyde d'aluminium est possible. Les formes solubles et monomériques organiques produites par chloration des SH pourraient alors être éliminées essentiellement par une adsorption sur le précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$.

III.4 Application du procédé combiné préoxydation- floculation à une eau de surface

III.4.1 Caractéristiques globales de l'eau du barrage d'Aïn Zada

Cette application a été réalisée sur l'eau de barrage d'Aïn Zada assurant les besoins en eau potable et industrielle des villes de Sétif, Bordj-Bou-Arriredj et El-Eulma. Les caractéristiques physico-chimiques indiquent une qualité moyenne de cette eau de surface avec des teneurs assez importantes en éléments minéraux et notamment la dureté. Les teneurs en azote ammoniacal sont faibles. Par contre les chlorures et les sulfates sont à des concentrations moyennes. La matière organique est par ailleurs présente en quantité appréciable.

III.4.2 Effet d'une préchloration sur la floculation de l'eau du barrage d'Aïn Zada

L'eau de surface est préchlorée durant une heure puis floculée à des doses croissantes de coagulant (sulfate d'aluminium). Tout comme en solutions synthétiques de SH, la figure 3 montre à la fois une baisse dans les rendements d'élimination de la matière organique et un déplacement de l'optimum vers une dose plus élevée en coagulant.

Concernant l'évolution de la turbidité, le même décalage de la dose optimale est observé avec toutefois une légère amélioration des rendements d'élimination de la turbidité. Ce dernier point serait expliqué par le fait qu'une fraction des colloïdes qui correspond aux bactéries est déstabilisée par leur inactivation au cours de la préchloration. Cet aspect avait déjà été mis en évidence sur d'autres eaux de surface algériennes le long de filières de potabilisation (ACHOUR, 2001).

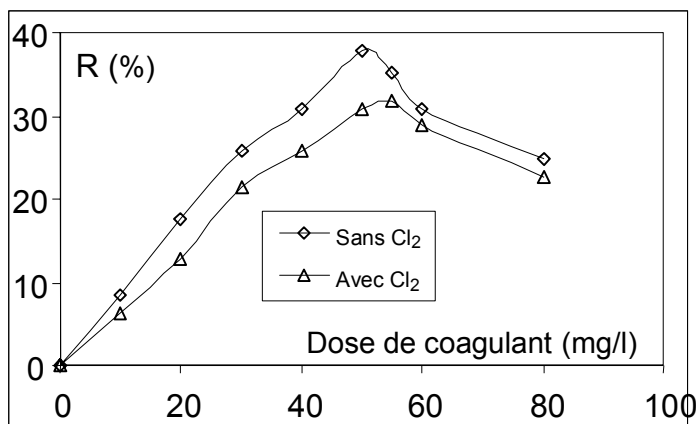


Fig. 3 : Effet de la préchloration sur la coagulation-floculation des eaux du barrage d'Aïn Zada. Temps de préchloration = 1 h.

Le tableau 4 récapitule les résultats de l'effet de la préchloration sur la floculation de l'eau d'Aïn Zada.

Enfin, signalons que nos résultats rejoignent ceux concernant les travaux sur les effets d'une préoxydation, que ce soit à l'ozone ou au bioxyde de chlore au cours de la coagulation d'eaux riches en substances humiques (REKHOW et SINGER, 1984; LEFEBVRE et LEGUBE, 1991; BRENER et CHEVALIER, 1983).

Tableau 4 : Effet de la préchloration sur les paramètres optima de l'eau floculée d'Aïn Zada.

	Eau floculée		Eau préchlorée floculée	
	Turbidité	SH	Turbidité	SH
R (%)	54,54	37,94	55,70	33,88
Dose de coagulant (mg/l)	30	50	40	55

IV. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de mettre en évidence l'incidence de la phase de chloration en amont de la coagulation-floculation d'eaux chargées en matières organiques.

À travers les résultats obtenus, nous avons pu constater que la préchloration s'avère néfaste pour l'abatement de la matière organique au cours de l'étape de coagulation-floculation quelle que soit la minéralisation des milieux. Cette préchloration induit une diminution du rendement d'élimination de la matière organique suite à la formation de produits de la chloration difficilement éliminables par floculation.

Ceci peut être lié à la formation de nombreux composés organohalogénés à fonctions carboxyliques mais aussi à la formation de THM.

Un déplacement des optima de l'élimination des matières humiques est observé vers des rapports massiques coagulant/SH plus élevés.

Les organohalogénés susceptibles de se former par chloration sont faiblement éliminés au cours de la floculation et peuvent augmenter au cours d'une post-chloration, en désinfection finale.

Les résultats de l'application du procédé combiné préchloration-floculation sur une eau de surface sont en accord avec ceux obtenus dans le cas des solutions synthétiques des substances humiques. La préchloration provoque une diminution des rendements de la coagulation-floculation et induit un déplacement de l'optimum vers une dose plus élevée en coagulant.

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.
- 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). La chloration des eaux de surface Algériennes et son incidence sur la formation des composés organohalogénés. *Environmental technology*, 14, 885-890.
- BRENER L., CHEVALIER, C. (1983). Effet de la préoxydation par le bioxyde de chlore sur la coagulation floculation. *TSM*, 1-2, 13-18.
- DORE M. (1989). *Chimie des oxydants et traitement des eaux*. Ed Lavoisier. Paris.
- DOSSIER-BERNE F., MERLET N., CAUCHI B., et 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. Sciences de l'eau*, 1, 115-133.
- GUESBAYA N., ACHOUR S. (1998). Influence de la minéralisation sur le pourcentage d'élimination des SH par floculation. 3^{ème} séminaire national d'hydraulique. Biskra.
- HOYER O., BERNHARDT H., et BERNHARDT L. (1987). The effect of ozonation on the impairment of flocculation by algogenic organic matter. *Z. Wasser-Abwasser-Forsch.* 20, 123-131.
- LEFEBVRE E., LEGUBE B. (1990). Coagulation par Fe(III) de substances humiques extraites d'eaux de surface : Effet du pH et de la concentration en substances humiques. *Wat. Res.* 24, 5, 591-606.
- LEFEBVRE E., LEGUBE B. (1991). Influence de la préoxydation sur la coagulation par le chlorure ferrique de la matière organique. *Rev. Sciences de l'eau.* 4, 499-520.
- REKHOW D.A, SINGER P.C. (1984). Removal of organic halide precursors by preozonation and alum coagulation. *J.A.W.W.A*, 76, 4, 151-157.
- RODIER J. (1996). *L'analyse de l'eau*. 8^{ème} édition, Ed Dunod. Paris.
- THURMAN E.H., MALCOM R.L. (1983). Structural study of humic substances: new approaches and methods, in aquatic and terrestrial humic materials. Ed. By CHRISTMUN R.F, and GJESSING E.T., Ann Arbor Science Publishers, chapter 1, 1-23.
- VAN BREEMEN A.N., NIEUWSTAD T.J., VAN DER MEENT-OLIEMAN. (1979). The fate of fulvic acids during water treatment, *Wat Res.* 13, 8, 771-780.