

Élimination des colorants des eaux résiduaires de l'industrie textile par la bentonite et des sels d'aluminium

Dye abatement of textile industry wastewater with bentonite and aluminium salts

S. KACHA¹, M.S. OUALI² et S. ELMALEH³

Reçu le 9 octobre 1996, accepté le 14 mars 1997*.

SUMMARY

The textile industry uses synthesis dyes, most of them being toxic. In Algeria, the agricultural reutilization of treated wastewater, even industrial, is becoming a strong requirement. It is therefore compulsory to drastically reduce the pollutants fluxes. As a matter of fact, the actually operated conventional processes cannot meet the quality requirements: the dyes bioelimination is negligible and the flocculation with iron salts as currently carried on in the SOITEX plant located in Tlemcen, Algeria, is not effective enough. The use of aluminium salts in the flocculation of such wastewaters is well known (FIESSINGER and BERSILLON, 1977; LAHAV *et al.*, 1978). Nevertheless, the resulting microflocs are not easily settleable. Bentonite, locally available at a low cost, can also eliminate micropollutants (LAHAV *et al.*, 1978). Associated with polyhydroxyaluminium, it can abate such compounds as benzene or toluene, favouring simultaneously the liquid-solids separation. This paper evaluates the treatability of dyes by bentonite associated with aluminium salts.

All the runs were carried on in a 200 cm³ batch reactor, mechanically stirred and thermoregulated at 20°C. The main physico-chemical characteristics of the bentonite are given in Table 1. The flocculant was aluminium chloride, previously neutralized with sodium hydroxide (mass ratio OH⁻/Al = 1.85). The solutions were immediately used or let to polymerize during 6 days leading to polyhydroxyaluminium PHAl (LAHAV *et al.*, 1978). When the reactor was operated with bentonite and aluminium, the mass ratio Al/bentonite was maintained at 53.10⁻³ (KACHA, 1994). Four dyes belonging to two main families were tested: Supranol Yellow 4GL and Nylomine Green (acid dyes) and Foron Red RDGL and Foron Violet S3RL (dispersive dyes). Their concentrations were obtained by spectrophotometry.

1. Laboratoire des Matériaux et de la Catalyse, Institut des Sciences Exactes, Université de Sidi-Bel-Abbès, BP 89, 22000 Sidi-Bel-Abbès, Algérie.
2. Institut de Chimie Industrielle, Centre Universitaire de Mostaganem, 27000 Mostaganem, Algérie.
3. JE 499, Génie des Procédés-Traitement des Eaux, CC24, 34095 Montpellier Cedex 5, France.

* Les commentaires seront reçus jusqu'au 31 décembre 1997.

The bentonite alone does not induce a significant abatement excepted for low pH value around 4 (Fig. 1 and 2). The dye elimination should therefore require a previous protonation followed by a cation exchange. The equilibrium can be modelled by a Freundlich equation (Fig. 3 and Table 2). The dyes can also be eliminated by aluminium salts alone (Fig. 4). The efficiency is then better with polyhydroxyaluminium, *i. e.* more than 90% of the initial concentration is abated. Nevertheless, the dyes abatement probably results of an adsorption or a chemical reaction on microflocs which are not easily settleable. By assuming that all the aluminium ions are precipitated in aluminium hydroxide, the equilibrium is modelled by the Langmuir equation which would indicate a monolayer adsorption (Fig. 5). When the reactor is operated with bentonite and aluminium salts, the dyes abatement is nearly complete and the liquid-solids separation is particularly efficient (Fig. 6 and 7). The best results are obtained with PHAl but the use of the monomer can be sufficient. The required concentrations are relatively low and the process is then economically feasible (Table 3). However, the experimental data cannot longer be modelled by the Freundlich equation nor by the Langmuir equation. When the aluminium salts react alone with the dyes, the conductance displayed against the aluminium concentration shows two straight lines of different slopes (Fig. 8). The abscissa of the points where the slopes change are proportional to the initial dye concentration putting into evidence a chemical reaction between the dye and the aluminium salts (Fig. 9). However, the final pH value belongs to the limit value of aluminium hydroxide precipitation; an adsorption on aluminium hydroxide or an aluminium salt precipitation cannot then be assumed. In presence of bentonite, such changes of slope are not observed and, moreover, the final pH value does not correspond either to a precipitation value (Fig. 11 and 12). At this stage, a comprehensive mechanism cannot then be proposed.

However the process using bentonite/PHAl is particularly efficient and easy to operate (Fig. 13 and Table 3). The results were confirmed with a true industrial effluent whose COD was abated from 770 mg/l to less than 30 mg/l (Fig. 14). As a matter of comparison, the actual process, which includes an activated sludge followed by an iron sulphate/lime flocculation, leads to an effluent containing yet 140 mgCOD/l.

Key-words: adsorption, bentonite, dyes, flocculation, polyhydroxyaluminium, precipitation.

RÉSUMÉ

L'industrie textile utilise des colorants de synthèse toxiques qui polluent ses eaux résiduaires avec, parfois, des flux importants. Les procédés traditionnels les éliminent mal : ils sont peu biodégradables et la seule flocculation, par exemple par des sels de fer, donne des résultats insuffisants. Or, en Algérie, la réutilisation agricole des eaux usées même industrielles est devenue une impérieuse nécessité. Le procédé proposé repose sur l'utilisation de sels d'aluminium ou, mieux encore, un polyhydroxyaluminium, associés à une bentonite de forage très fine présentant l'avantage d'être localement disponible et peu coûteuse. Quatre colorants ont été testés. Ils appartiennent à deux grandes familles : les colorants acides d'une part, Jaune Supranol 4GL et Vert Nylomine C8B et les colorants dispersifs d'autre part, Rouge Foron RDGL et Violet Foron S3RL. Les essais montrent que, si la bentonite seule ou les sels d'aluminium seuls présentent des efficacités insuffisantes, ces derniers du fait d'une mauvaise décantabilité des microflocs formés, l'association bentonite-aluminium permet d'éliminer les colorants en quasi totalité avec une excellente décantabilité. Les concentrations optimales à mettre en œuvre sont relativement basses, de l'ordre de 13 mg/l de Al^{3+} et 250 mg/l de bentonite. Les coûts d'exploitation

sont donc très raisonnables. Sur un effluent industriel réel, le procédé permet de passer d'une DCO de 770 mg/l à moins de 30 mg/l.

Mots clés : *adsorption, bentonite, colorants, floculation, polyhydroxyaluminium, précipitation.*

1 – INTRODUCTION

Les colorants de synthèse, toxiques pour la plupart, sont largement utilisés dans l'industrie textile. D'un point de vue purement technologique, ces substances sont classées en deux grandes familles : les colorants solubles dans l'eau et les colorants insolubles dans l'eau. Les premiers sont responsables d'un problème délicat car les traitements classiques des eaux ayant servi dans les bains de teinture n'assurent pas une épuration satisfaisante (LEMONNIER et VIGUIER, 1978 ; MDJAHED, 1991). Or, dans certains pays comme l'Algérie, dont les ressources hydriques sont relativement limitées, les eaux traitées sont souvent réutilisées en irrigation. Si le traitement n'est pas suffisamment efficace, les toxiques peuvent atteindre l'homme à travers la chaîne alimentaire ; des essais pilotes effectués par une équipe de biologistes de l'Université d'Oran montrent que les légumes irrigués par les eaux provenant de l'industrie textile sont contaminés. Or, la biodégradabilité des colorants textiles est très faible à cause de la présence dans leurs molécules de noyaux aromatiques (NOZET, 1976) et la clarifloculation avec des réactifs traditionnels, tels que les sels de fer, insuffisante (KACHA, 1994). Les procédés classiques, en particulier biologiques, n'assurent donc pas une élimination satisfaisante. A titre indicatif, l'entreprise SOITEX de Tlemcen utilise une clarifloculation à l'aide de sulfate ferreux en présence de chaux à pH 12 suivie d'une addition d'acide sulfurique. Cependant, les eaux résiduelles contiennent encore des colorants, leur pH reste élevé et leur conductance de l'ordre de 1 400 μ S ; c'est dire que ces eaux ne sont guère adaptées à une réutilisation agricole.

Les sels d'aluminium servent souvent de réactif en coagulation-floculation. FIESSINGER et BERSILLON (1977) ont utilisé des solutions de polymères d'aluminium pour floculer des eaux synthétiques et naturelles. Un traitement des effluents colorés de l'industrie textile par des sels d'aluminium préneutralisés et polymérisés a d'ailleurs été proposé (LAHAV *et al.*, 1978). Le principal inconvénient résulte de la difficile séparation liquide-solide ; en effet, dans le domaine de pH efficace, il subsiste de nombreuses particules colloïdales non décantables et une microfiltration ne serait pas économiquement envisageable. De plus, l'élimination des micropolluants organiques reste faible, de 20 à 60 %, comparable à celle obtenue par utilisation classique de sels de fer ou d'aluminium (THEBAULT *et al.*, 1981). Par ailleurs, NOLAN *et al.* (1989) ont utilisé des bentonites associées au polyhydroxyaluminium pour éliminer des traces de dioxine dans l'eau avec des rendements atteignant 85 à 95 %.

Ce travail se propose donc d'évaluer un traitement par la bentonite, localement disponible et bon marché, éventuellement associée au polyhydroxyaluminium, pour éliminer les colorants des eaux résiduelles de l'industrie textile.

2 – MATÉRIEL ET METHODES

Tous les essais sont réalisés en réacteur fermé de volume utile 200 cm³ agité mécaniquement et à la température ambiante maintenue à 20 °C. Les équilibres sont obtenus très rapidement ; cependant, afin de normaliser les essais, une agitation rapide à 250 tours/min pendant 1 minute est suivie d'une agitation lente à 50 tours/min pendant 15 minutes. La bentonite naturelle de Maghnia, Algérie, telle que commercialisée par l'entreprise ENOF, sous l'appellation de bentonite de forage, présente un intérêt évident. Son état finement broyé lui confère un emploi facile et une aire spécifique importante. La granulométrie de la bentonite brute est, en effet, telle que 62 % des particules possèdent un diamètre inférieur à 1 mm ; sa composition chimique, consignée au tableau 1, révèle son caractère montmorillonitique ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,77$). Cette caractéristique permet de la classer parmi les argiles gonflantes, propriété très importante dans le cas de l'utilisation de l'argile comme matrice d'accueil pour des espèces chimiques. A l'état naturel, cette bentonite présente un pH basique probablement dû à la présence de feldspaths potassique et calcosodique. Sa conductivité électrique relativement faible est due à son caractère basique faible.

Tableau 1 Principales caractéristiques physico-chimiques de la bentonite.

Table 1 *Bentonite main physico-chemical characteristics.*

Composés %		Paramètres physiques
SiO ₂	65,2	pH d'une solution à 10 g/l = 9,1
Al ₂ O ₃	17,25	
Fe ₂ O ₃	2,10	
MgO	3,10	conductance d'une solution à 0,5 g/l = 46,9 μS
CaO	1,20	
Na ₂ O		2,15
K ₂ O	0,20	62 % des particules ont un diamètre inférieur à 1 μm
TiO ₂	0,20	
Perte au feu	8,20	

Les sels d'aluminium sont préparés à partir de chlorure d'aluminium préneutralisé par la soude jusqu'à un rapport OH⁻/Al de 1,85 (FIESSINGER et BERSILLON, 1977). Deux types de solutions sont utilisées : fraîchement préparées ou mûries pendant 6 jours à température ambiante (LAHAV *et al.*, 1978). Ces dernières conduisent au polyhydroxyaluminium PHAl (FIESSINGER et BERSILLON, 1977). Lorsque les essais mettent en œuvre simultanément l'aluminium et la bentonite, les concentrations des deux réactifs sont variables mais le rapport massique Al/bentonite est maintenu constant à la valeur $53 \cdot 10^{-3}$: pour chaque gramme de bentonite en réaction, il y a 53 mg d'ions Al³⁺. Ce rapport a été choisi comme optimal après des essais préliminaires (KACHA, 1994).

Les essais sont effectués sur des solutions de colorant à concentration initiale fixée dont le pH est ajusté par l'acide chlorhydrique ou la soude introduits avant réaction à laquelle on ajoute la bentonite seule ou des sels d'aluminium seuls ou à la fois bentonite et sels d'aluminium. En aucun cas, la bentonite n'est préalablement gonflée.

La classification des colorants textiles repose sur des données chimiques ou technologiques. La classification chimique se base sur la structure des molécules, en particulier sur la nature des groupes actifs qu'elles comportent. En teinture, ce sont les facteurs intervenant au cours du traitement qui conditionnent le choix des colorants et leur mode de classification. Ainsi les colorants acides, selon la classification chimique, sont des composés dont la molécule comporte une ou plusieurs fonctions acides ; les colorants dispersifs, selon la classification technologique, conviennent pour les fibres peu polaires c'est-à-dire des fibres dont les groupes fonctionnels ne sont pas hydrolysables. Ils sont caractérisés par une cinétique lente du processus de teinture ce qui oblige à opérer à haute température et même sous pression. Les quatre colorants testés appartiennent aux deux grandes familles citées, les plus utilisées dans la teinture des fibres chimiques de soie artificielle (NOZET, 1976 ; LEMONNIER et VIGUIER, 1978) : Jaune Supranol 4GL et Vert Nylomine C8B (colorants acides), Rouge Foron RDGL et Violet Foron S3RL (colorants dispersifs). Les formules exactes de ces composés ne sont pas disponibles.

Les concentrations en colorant sont déterminées par l'absorbance grâce à un spectrophotomètre UV-Visible Perkin Elmer. En effet, dans un domaine de concentration allant de 0 jusqu'à 150 mg/l, les solutions de colorants obéissent à la loi de Beer-Lambert. Pour mesurer la concentration en colorant de l'eau traitée en présence de bentonite, il suffit de prélever un échantillon du surnageant après arrêt de l'agitation ; en effet, la décantation est alors extrêmement rapide. Afin de normaliser les essais, l'échantillon est prélevé après 10 minutes de sédimentation. En revanche, quand seuls des sels d'aluminium sont utilisés, il est nécessaire de filtrer les échantillons à travers des membranes de 1,2 μm en fibre de verre non réactive. Le pH est mesuré au moyen d'un pH-mètre électronique Tacussel PHN75 avec électrode en verre et électrode de contrôle au calomel et les conductances avec un conductimètre électronique Tacussel CD75. La DCO est déterminée par la méthode normalisée AFNOR.

3 – RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

La bentonite seule n'autorise pas d'élimination significative des colorants sauf si le pH est maintenu à des valeurs basses ; à pH 4, le Jaune Supranol est éliminé à plus de 70 % (fig. 1). Des résultats analogues sont obtenus avec le Vert Nylonine, le Rouge Foron et le Violet Foron à condition d'opérer à pH 4 (fig. 2) L'adsorption pourrait donc dépendre de la dissociation du colorant. Le pK_A n'est pas disponible ; un calcul approché reposant sur l'hypothèse d'un acide faible dissocié en fonction du pH serait possible à condition de connaître la masse molaire. Les résultats obtenus montreraient donc simplement que l'adsorption de la forme moléculaire est plus importante que celle de la forme ionique ce qui est générale-

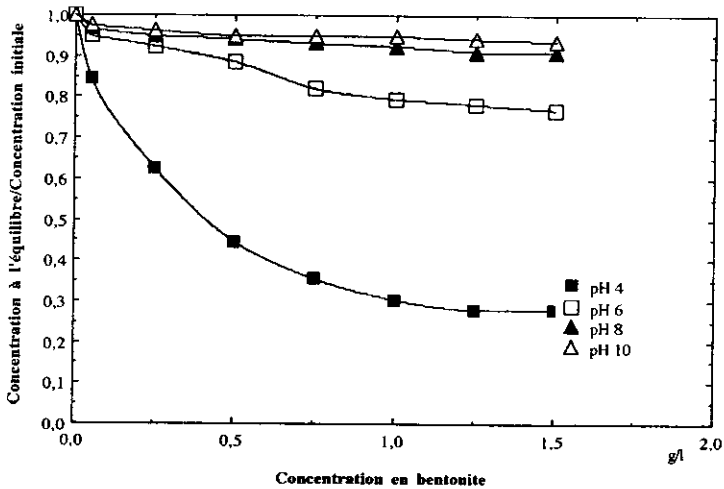


Figure 1 Élimination du Jaune Supranol par la bentonite. Concentration initiale 50 mg/l.

Supranol Yellow abatement with bentonite. Initial concentration 50 mg/l.

ment observé. Une autre hypothèse serait la nécessité d'une protonation préalable. Le mécanisme d'élimination serait alors une protonation du colorant en milieu acide puis une fixation sur bentonite par échange cationique. Néanmoins, en milieu très acide, inférieur à pH 4, la capacité de rétention pourrait diminuer en raison d'une possible compétition entre les protons du milieu, rapides et moins encombrants, et les molécules protonées du colorant. Les équilibres sont tous ajustables au modèle de Freundlich qui correspond à une énergie indépendante de la couverture (*fig. 3 et tabl. 2*) :

$$\frac{x}{m} = kC^n \quad (1)$$

x : masse de colorant fixée ;

m : masse d'adsorbant ;

C : concentration de colorant à l'équilibre ;

k, n : constantes qui dépendent de la nature du corps adsorbé et des conditions de la fixation.

La capacité d'adsorption du Rouge Fonon est la plus élevée ; pour les autres colorants, les concentrations maximales retenues sont comparables (*tabl. 2*).

Avant d'associer bentonite et aluminium, l'élimination des colorants par les seuls sels d'aluminium a préalablement été étudiée. L'épuration est alors une fonction croissante de la concentration en hydroxyde d'aluminium ; il faut remarquer que le pH varie simultanément car les solutions de polyhydroxyaluminium sont à pH acide (*fig. 4*). L'élimination du colorant est probablement due à la rétention sur ou dans des microflocs qui présentent l'inconvénient d'être difficilement décantables. L'efficacité est meilleure lorsque la solution de sels d'aluminium est préalablement mûrie favorisant la formation de polyhydroxyde d'aluminium PHAI (FISSINGER et BERSILLON, 1977) ; elle dépasse alors 90 % pour la plupart des colorants. Ceci montre que la forme chimique sous laquelle se trouve l'aluminium

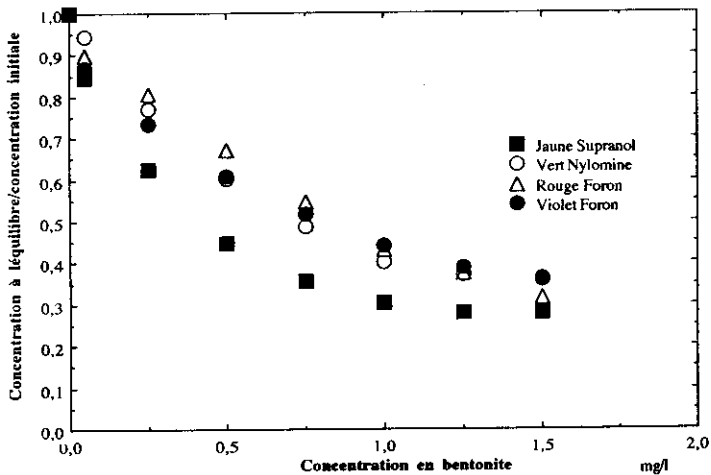


Figure 2 Élimination des colorants par la bentonite à pH 4. Concentration initiale en colorant 50 mg/l.

Dye abatement by bentonite at pH 4. Initial concentration 50 mg/l.

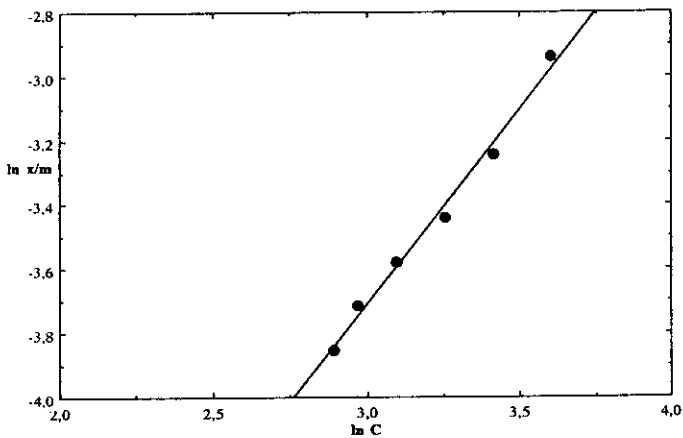


Figure 3 Ajustement à une équation de Freundlich. Violet Foron à pH 4.

Modelling by a Freundlich equation. Foron Violet at pH 4.

Tableau 2 Valeurs des paramètres dans l'équation de Freundlich (concentrations en mg/l) - pH 4.

Table 2 Parameters in Freundlich equation (concentration expressed in mg/l) - pH 4.

Colorant	n	k
Jaune Supranol	0,62	1,44
Vert Nylomine	0,88	1,94
Rouge Foron	0,53	5,26
Violet Foron	0,64	1,21

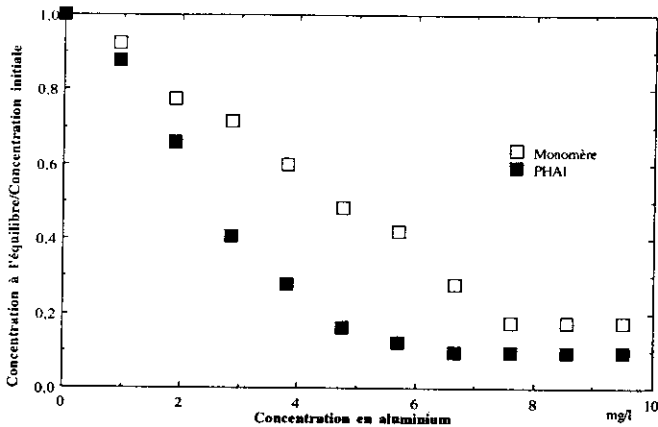


Figure 4 Élimination du Jaune Supranol par l'hydroxyde d'aluminium. Concentration initiale 50 mg/l.

Supranol Yellow abatement with aluminium hydroxide. Initial concentration 50 mg/l.

est très importante. En supposant que la totalité des ions aluminium précipitent sous forme d'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3$ pendant la floculation et en considérant l'hydroxyde d'aluminium comme seul adsorbant, les isothermes d'équilibre ne s'ajustent pas à l'équation de Freundlich mais plutôt à l'équation de Langmuir, ce qui ferait penser à un mécanisme d'adsorption en monocouche sur des macro-édifices :

$$\frac{x}{m} = K \frac{C}{C + C_S} \quad (2)$$

où K et C_S sont les deux paramètres de cette relation homographique. Il est aisé d'effectuer l'ajustement en mettant l'équation (2) sous la forme :

$$\frac{C}{x/m} = K(C + C_S) \quad (3)$$

Les points expérimentaux sont bien alignés en conformité avec l'équation (3) avec un ajustement légèrement meilleur lorsque l'adsorption s'effectue sur des polyhydroxydes d'aluminium PHAI (fig. 5). L'élimination des colorants par le seul hydroxyde d'aluminium n'est pas dénuée d'intérêt sur le plan de l'efficacité cependant la difficulté de la séparation liquide-solide compromet la mise en œuvre industrielle.

Lorsque la bentonite est associée aux hydroxydes d'aluminium, l'élimination des colorants est quasiment totale (fig. 6 et 7). Si des résultats légèrement meilleurs sont obtenus après polymérisation, l'utilisation directe du monomère est possible. Un taux d'élimination supérieur à 95 % est obtenu pour une concentration en bentonite inférieure à 1 g/l et donc une concentration en ions Al^{3+} inférieure à 5 mg/l. De plus, la présence de bentonite facilite la séparation liquide-solide par décantation qui est immédiate ou, éventuellement, par flottation si un procédé très intensif s'avère nécessaire. Ces résultats se situent parmi les meilleurs sur l'efficacité d'élimination des micropolluants organiques (THEBAULT et

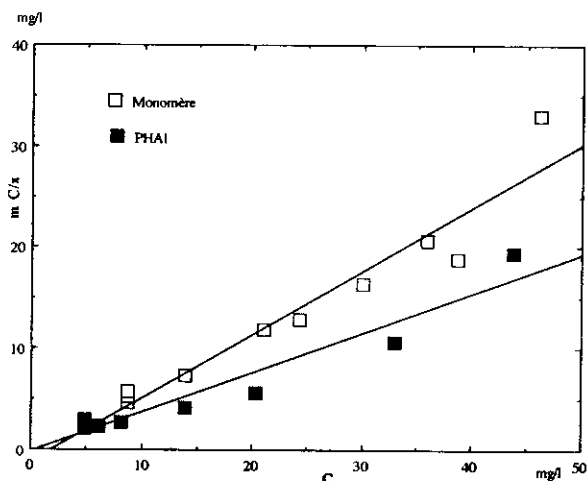


Figure 5 Ajustement à la loi de Langmuir. Jaune Supranol.
Modelling by Langmuir equation. Supranol Yellow.

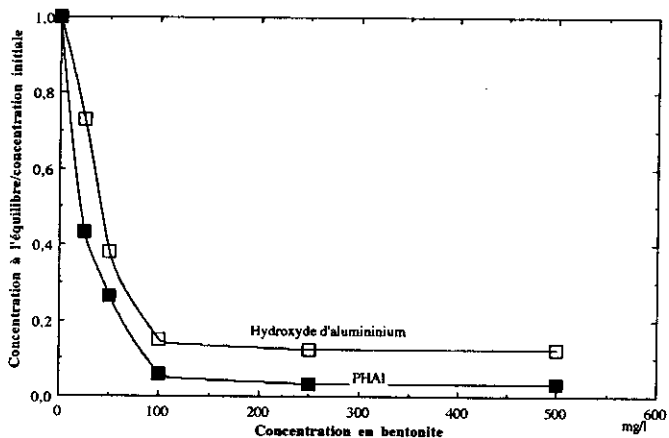


Figure 6 Élimination du Jaune Supranol par la bentonite et l'aluminium.
Supranol Yellow abatement with bentonite and aluminium.

al., 1981 ; WOLFE *et al.*, 1985, 1986; PUSINO *et al.*, 1989 ; KEERAN *et al.*, 1990 ; LEE *et al.*, 1990). Par contre, les données ne sont plus ajustables aux équations de Freundlich ou de Langmuir et l'on peut s'interroger sur le mécanisme d'élimination des colorants. Il serait nécessaire d'examiner la structure du composé mixte aluminium-bentonite, particulièrement en faisant varier la proportion des réactifs.

Lorsque les colorants sont éliminés par les sels d'aluminium seuls, un titrage conductimétrique met en évidence deux droites de pentes différentes ; cette

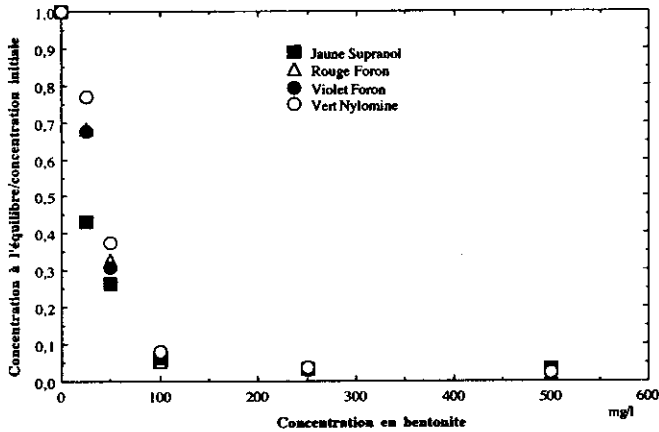


Figure 7 Élimination des colorants par la bentonite et le PHAl.
Dye abatement with bentonite and aluminium polyhydroxide.

observation peut être faite avec ou sans polymérisation préalable (*fig. 8*). Les points de changement de pente évoluent proportionnellement à la concentration initiale en colorant ce qui pourrait traduire une interaction entre le colorant et le sel d'aluminium (*fig. 9*). Le suivi du pH au cours du titrage conductimétrique montre que la valeur finale se situe à la limite du domaine de précipitation de l'hydroxyde d'aluminium aux concentrations utilisées (FIESSINGER et BERSILLON, 1977) (*fig. 10*). On ne peut donc conclure à une adsorption sur hydroxyde d'aluminium ou à une formation de sel d'aluminium insoluble. En présence de bentonite, aucun changement de pente ne survient pendant le titrage conductimétrique et les valeurs du pH d'équilibre sont encore à la limite du seuil de précipitation de l'hydroxyde (*fig. 11 et 12*). Un mécanisme cohérent reste donc difficile à proposer. Un suivi du potentiel zéta permettrait peut-être de préciser si l'élimination procède d'une précipitation chimique où la bentonite jouerait le rôle de base ou bien d'une coagulation-floculation où la bentonite serait un adjuvant de floculation..

La supériorité du procédé reposant sur la bentonite et le PHAl est incontestable par son efficacité (*fig. 13*). Les quantités optimales de réactifs à mettre en œuvre sont consignées au tableau 3. Ces résultats sont parfois comparables ; l'atout majeur du procédé utilisant la bentonite repose sur la facile séparation liquide-solide.

Les résultats obtenus ont été confirmés sur un effluent industriel contenant divers colorants et autres polluants. Avec moins de 200 mg/l de bentonite et 50 mg/l d'aluminium, il est possible de ramener la DCO de 770 à 30 mg/l (*fig. 14*). A titre indicatif, l'entreprise SOITEX obtient une eau résiduaire après traitement traditionnel contenant encore plus de 140 mg/l en DCO.

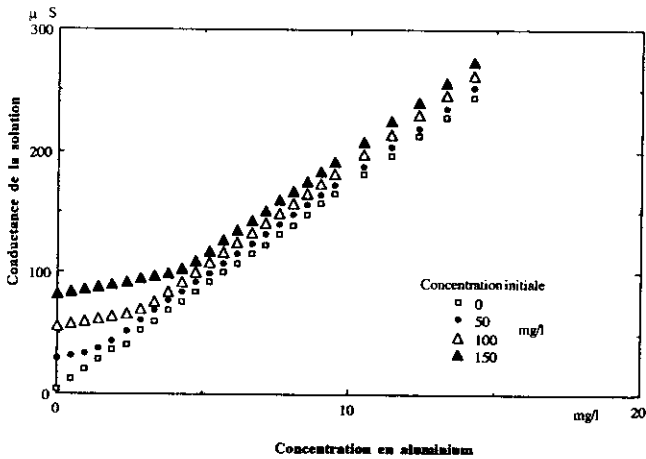


Figure 8 Dosage conductimétrique d'une solution de Jaune Supranol par PHAI.
Conductance of a Supranol Yellow solution against aluminium concentration.

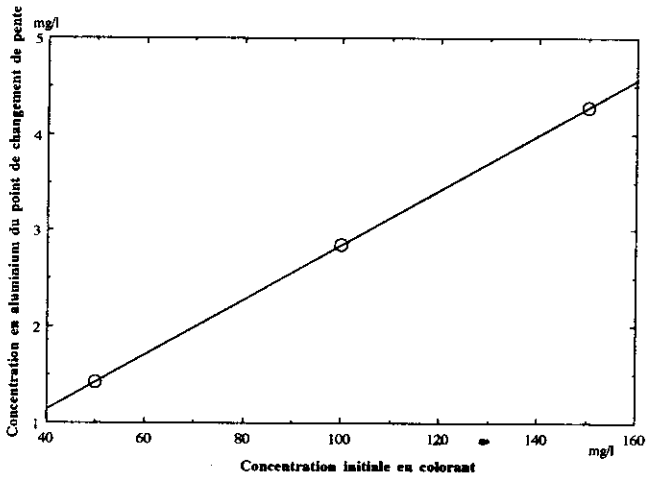


Figure 9 Proportionnalité entre la concentration en aluminium des points de changement de pente et la concentration initiale en Jaune Supranol.
Proportionality between the aluminium concentration corresponding to the slope change and the initial Supranol Yellow concentration.

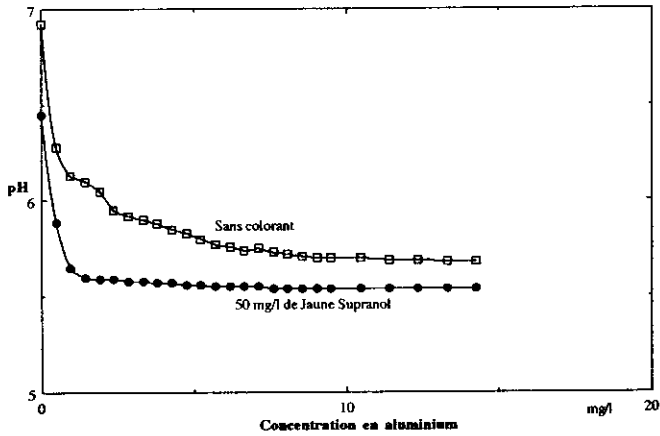


Figure 10 Évolution du pH au cours du dosage conductimétrique par PHAI.
pH against aluminium concentration (PHAI).

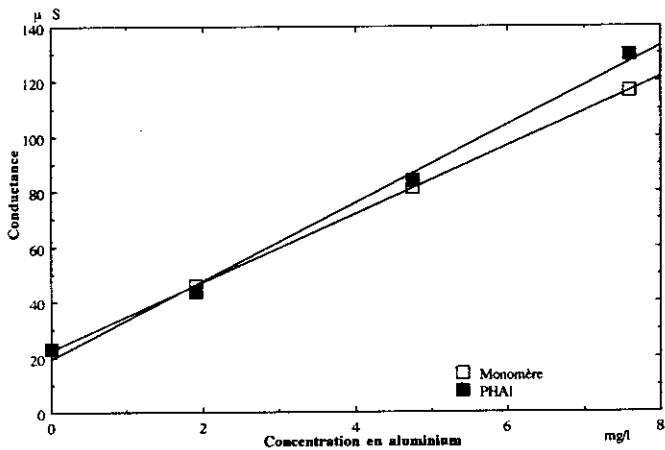


Figure 11 Conductance d'une solution à 50 mg/l de Jaune Supranol en fonction de la concentration en aluminium en présence de bentonite.
Conductance of a 50 mg/l Supranol Yellow solution against aluminium concentration in presence of bentonite.

CONCLUSIONS

Les colorants peuvent être éliminés des eaux résiduelles de l'industrie textile en quasi totalité par floculation puis séparation liquide-solide. Les réactifs à utiliser sont des sels d'aluminium associés à la bentonite. Les eaux obtenues pour-

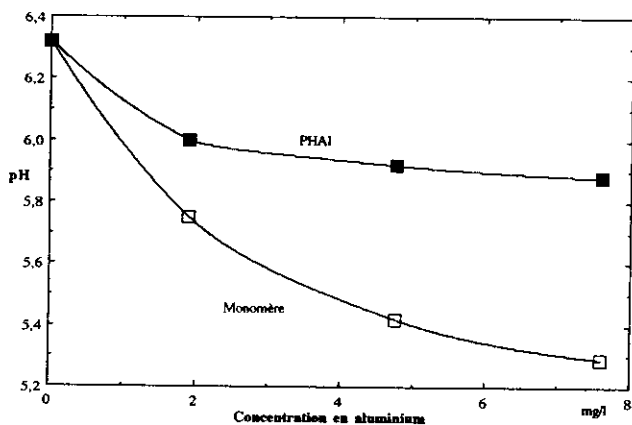


Figure 12 Évolution du pH d'une solution de Jaune Supranol à 50 mg/l selon la concentration en aluminium en présence de bentonite.

pH of a 50 mg/l Supranol Yellow solution against aluminium concentration in presence of bentonite.

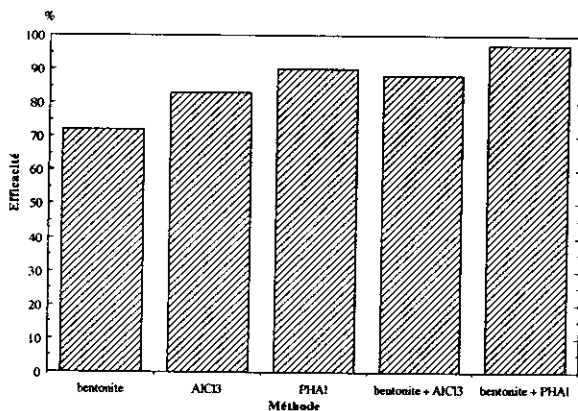


Figure 13 Comparaison des différents procédés d'élimination du Jaune Supranol.
Comparison of the different processes for Supranol Yellow abatement.

raient être dispensées de traitement biologique ; en tout état de cause, le procédé contribue efficacement à améliorer la qualité des eaux en vue d'une réutilisation agricole. Ces conclusions doivent évidemment être nuancées selon les traitements à prévoir pour les boues résiduelles. Ce travail se poursuit afin d'établir la cinétique des processus réactionnels et d'élucider les mécanismes de rétention.

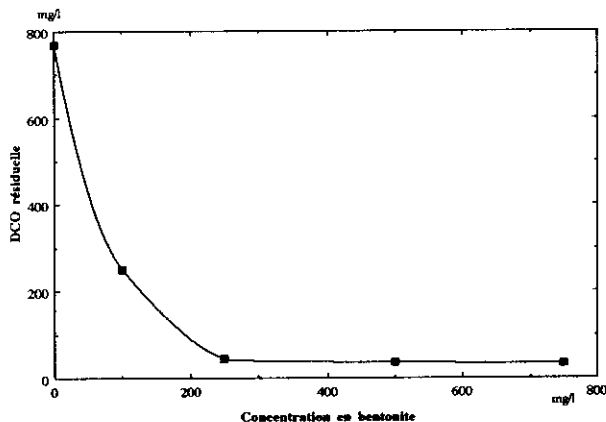


Figure 14 DCO résiduelle d'une eau industrielle après traitement à la bentonite et au PHAI.

Residual COD of an industrial wastewater treated with bentonite and poly-hydroxyaluminium.

Tableau 3 Comparaison des différentes méthodes pour éliminer le Jaune Supranol (concentration initiale 50 mg/l).

Table 3 *Comparison of the different processes for abatement of Supranol Yellow (initial concentration 50/mg/l).*

Méthode	Concentrations optimales	Efficacité %
Bentonite à pH 4	1,25 g/l	72
Aluminium monomère	8 mg/l	83
PHAI	7 mg/l	90
Bentonite et Al monomère	13 mg/l Al et 250 mg/l de bentonite	88
Bentonite et PHAI	13 mg/l Al et 250 mg/l de bentonite	97

NOTATIONS

C	concentration de colorant à l'équilibre	ML^{-3}
C_S	constante de l'équation de Langmuir	ML^{-3}
k	constante de l'équation de Freundlich	$M^{-n}L^{3n}$
K	constante de l'équation de Langmuir	
m	masse d'adsorbant	M
n	exposant de l'équation de Freundlich	
x	masse de soluté retenu	M

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FIESSINGER, F., BERSILLON, J.L. (1977). Prépolymerisation de l'hydroxyde d'aluminium pour la coagulation des eaux. *Tribune du Cebedeau*, 399 : 52-68.
- KACHA, S. (1994). *Valorisation des Bentonites Algériennes. Application au Traitement des Eaux Résiduaires de l'Industrie Textile*. Thèse de Magister, Université de Tlemcen, Algérie.
- KEERAN, T.N., SRINIVASAN, R., FOGLER, H.S. (1990). Dioxon sorption by hydroxyaluminium treated clays. *Clays and Clay Minerals*, 37 (5) : 487-492.
- LAHAV, N., SHANI, U., SHABTAI, J. (1978). Cross-linked smectites. Synthesis and properties of hydroxyaluminium-montmorillonites. *Clays and Clay Minerals*, 26 (2) : 107-115.
- LEE, J.F., MORTLAND, M.M., CHIOU, C.T., KILE, D.E., BOYD, S.A. (1990). Adsorption of benzene, toluene and xylene by two tetramethyl-ammonium-smectites having different charge densities. *Clays and Clay Minerals*, 38 (2) : 113-120.
- LEMONNIER, M.L., VIGUIER, M. (1978). *Les Textiles et leur Entretien*. Editions Jaque Lanore, Paris.
- MDJAHED, M. (1991). *Etude Physico-Chimique des Colorants Alimentaires*. Thèse de Magister, Université de Tlemcen.
- NOZET, H. (1976). *Textiles Chimiques. Fibres modernes*. Eyrolles, Paris.
- PUSINO, A., MICERA, G., GESSA, C., PETRETTO V. (1989). Interaction of diclofop and diclofop-methyl with Al^{3+} , Fe^{3+} and Cu^{2+} saturated montmorillonite. *Clays and Clay Minerals*, 37 (6) : 558-562.
- THEBAULT, V., CASES, J.M., FIESSINGER, F. (1981). Mechanism underlying the removal of organic micropollutants during flocculation by an aluminium or iron salts. *Wat. Res.*, 15 : 183-189.
- WOLFE, T.A., DEMIREL, T., BAUMANN, E.R. (1985). Interaction of aliphatic amines with montmorillonite to enhance adsorption of organic pollutants. *Clays and Clay Minerals* 33 (4) : 301-311.
- WOLFE, T.A., DEMIREL, T., BAUMANN, E.R. (1986). Adsorption of organic pollutants on montmorillonite treated with amines. *JWPCF*, 58 : 487-492.