

Article

« Elimination de colorants de l'industrie textile par des sciures de bois »

M. Mazet, O. Dusart, M. Roger et D. Dussoubs-Marmier

Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 3, n° 2, 1990, p. 129-149.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/705068ar>

DOI: 10.7202/705068ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

Elimination de colorants de l'industrie textile par des sciures de bois

Dyes removal from textile effluents by wood sawdusts

M. MAZET¹, O. DUSART¹, M. ROGER¹, D. DUSSOUBS-MARMIER¹

RÉSUMÉ

L'élimination de la couleur de rejets de petites industries textiles peut être réalisée à l'aide de sciures d'essences de bois diverses dont le choix est fait après étude de leur relargage dans l'eau (couleur et DCO) ; les sciures de chêne, de châtaignier, de pin Douglas conduisent à des relargages de substances fortement colorées correspondant à des DCO d'environ 60 mg d'oxygène par gramme de sciures sèches et ceci en réacteur discontinu. Par contre, les sciures de hêtre, bouleau, sapin et peuplier relarguent nettement moins de produits colorés ou non et conduisent à des DCO plus faibles, excepté pour le bouleau (30 mg d'O₂.g⁻¹).

Le pH de l'eau est également modifié par addition de sciures et l'on obtient des valeurs de pH d'équilibre atteint en 10 min., de 4,3 ; 5 ; 5,8 et 7 pour le bouleau, le sapin, le hêtre et le peuplier respectivement.

L'élimination de colorants à 25 mg.l⁻¹ dans l'eau par des doses de sciures de 50 g.l⁻¹ pour 2 h de temps de contact, montre qu'une meilleure décoloration (96 à 100 %) est obtenue pour le colorant cationique Basic Red 22 avec les quatre sciures sélectionnées, qu'avec les colorants anioniques (ou acides) dont les valeurs de rétention, variables selon les sciures (de 4 à 8 %) peuvent être très bonnes également.

Les isothermes d'adsorption permettent de déterminer les capacités d'adsorption à saturation ; à titre d'exemple, des valeurs de 0,1 à 0,2 mmol.g⁻¹ sont obtenues sur des sciures de peuplier et de hêtre pour le colorant BR 22 et de 4 à 8.10⁻³ mmol.g⁻¹ pour le colorant anionique Acid Blue 25, sur ces mêmes sciures. Contrairement à d'autres matériaux, on observe que les résultats obtenus ne dépendent que très peu de la température (entre 15 et 35 °C).

Une étude dynamique sur colonne confirme les écarts pour les deux types de colorants, mais les résultats dépendent de la vitesse de passage : des pourcentages d'élimination de 0,4 à 1 % en masse peuvent être obtenus pour l'AB 25 le BR 22 sur la sciure de hêtre. Il faut cependant signaler que les produits

1. Laboratoire de Génie Chimique Traitement des Eaux, Faculté des Sciences, 123 Avenue A. Thomas, 87060 Limoges Cedex, France.

minéraux et organiques contenus dans les effluents colorés industriels diminuent l'efficacité des sciures par rapport à leur efficacité sur des solutions de colorants purs.

Mots clés : *sciures de bois, colorants textiles, adsorption.*

SUMMARY

Anticipated water pollution regulations require textile dye industries to reduce substantially the amount of colour in their effluents. One possible method of colour removal is through adsorption techniques. The most commonly used adsorbent for treatment of textile effluents is activated carbon. The capability of sawdust for removing colour was recognised some time ago (POOTS *et al.* 1978 ; ABO-ELELA and EL-DIB, 1987 ; ASFOUR *et al.*, 1985) as were those of peat and of charred woollen fiber treatments (PERINEAU *et al.*, 1983). Sawdust has recently received more attention (ASFOUR *et al.*, 1985) owing to its economic advantages when the sawmills are near the textile mills. In order to measure the real efficacy of some types of sawdust, evaluation of the released coloured products and their influence on the effluent water pH are never described. The aim of the present work is to study and evaluate the behaviour of types of sawdust from Limousin woods (released COD and pH of solutions) and the discoloring power of the selected sawdust (beech, poplar, birch and fir trees) with respect to textile dyes in dilute solutions and industrial effluents.

MATERIALS AND METHODS

Experiments were conducted using sawdust from beech, chestnut, poplar, oak, birch, fir and Douglas pine, in doses of 50 g.l⁻¹ of water. The industrial sawdust particle size was between 0.5 – 1.5 mm.

The dyestuffs used in all the experiments are reported in table 1. The initial concentration of colouring matter was 25 mg.l⁻¹ and determined spectrophotometrically at maximum absorbance wavelength. In a batch system the time required for equilibrium was 2 hours (or less).

RESULTS AND DISCUSSION

Kinetic rejections of the sawdust are shown in figure 1 ; four types of sawdust are suitable : beech, poplar, birch, and fir were selected for further experiments. The absorbance depends on the wavelength and becomes maximum near UV range (as shown in fig. 2 and 3). The COD of the released products is particularly important for chestnut, oak, Douglas pine (60 mg.Oz.g⁻¹ ; table 2) and also for birch (31 mg.Oz.g⁻¹). These data have never been mentioned in published works where the wood was not submitted to any form of pretreatment.

Sawdust contains some acidic or basic groups that modify the pH of water (fig. 6, 7) which becomes more acidic ; the phenomenon can be used to neutralize textile fixing effluents loaded with carbonate ions (pH : 10). Batch results (table 3) indicate that the four selected types of sawdust give good colour removal for the 8 dyes ; particularly, the cationic dye : Basic Red 22 is discoloured with very good yield (96 to 99.5 %) on beech and on birch sawdust.

A variation of temperature between 15 and 35 °C does not change significantly the adsorption results and at pH = 2, the release decreases (table 2) and the adsorption increases (table 4).

Equilibrium conditions of adsorption of basic and acidic dyes on four types of dust were studied using the Langmuir equation ; this equation was also used for the determination of the « ultimate capacity » Γ_{∞} and the equilibrium constant K (STUMM and MORGAN, 1981). The resulting Γ_{∞} and K for some dyes (AB 25, BR 22, NLB) on fir, beech, poplar, and birch sawdust are given in table 5. The best results were obtained for the cationic dye BR 22 which showed an

ultimate capacity of 0.210 and 0.06 mmol.g⁻¹ on beech and on birch sawdust respectively. [The result for other dyes is in the order of 0.005 mmol.g⁻¹]. The results obtained by extrapolation of the linearized Langmuir equation are somewhat different from those obtained by the experimental saturation curve (fig. 8) for BR 22 on polar sawdust. For AB 25, the saturation curve shows a great increase of the adsorption capacity for concentrated solutions (2 - 2.25 g.l⁻¹), this is probably due to a micellary process as shown on figure 9 : the critical micellary concentration is between 1.5 and 3.3 g.l⁻¹.

DYNAMIC STUDY

Flow tests using small columns (3 - 7 cm of height) are used with beech sawdust for determining the breakthrough curves (rate : 1.03 m.h⁻¹). The concentrations of AB 25, BR 22 and their mixture are 25 mg.l⁻¹ (close to industrial waste-water concentration). The adsorption capacity deduced from the « Bed Depth Service Time » model is 0.4 % and 0.8 % for each dye respectively.

Glass columns (4 cm diameter) containing 20 g or 30 g of beech sawdust were also used. The values of adsorption for a rate of 3.1 m.h⁻¹ are 0.45 mg.g⁻¹ (0.04 %) for AB 25 and 13 mg.g⁻¹ (1.3 %) for BR 22. Approximately 650 litres of this dye can be treated by this sawdust (fig. 10 and 11).

Industrial effluents (unknown composition) are less discoloured, probably due to the presence of many other compounds.

Batch experiments adsorption of dyes on wood sawdust can lead to different measurements of the efficiency of the sawdust depending on rejection by the adsorbent of chemical species in the bulk solution. These substances modify the pH, the adsorbance of the solution and the amount of adsorbed dyes by competitive reaction.

Key-words : wood sawdust, dyestuff, adsorption.

INTRODUCTION

L'élimination de la couleur dans les rejets de teintureriers a fait l'objet de très nombreuses études. Les procédés utilisés : coagulation-floculation, traitement biologique, oxydation, adsorption sur matériaux adsorbants comme le charbon actif, ou procédés membranaires se sont révélés efficaces mais, dans la plupart des cas, très onéreux. Les recherches se sont alors orientées, pour des rejets de faible volume vers des procédés de traitement de faible coût utilisant comme matériaux les argiles, la tourbe, le bois.

POOTS *et al.*, (1976) montrent que la sciure de résineux adsorbe du colorant Acid Blue 25 pour un temps d'équilibre de 3 h et avec une capacité d'environ 10 mg.g⁻¹ ; ils réalisent une étude semblable avec l'Astrazone Blue (POOTS *et al.*, 1978). Des résultats similaires sont trouvés par Mc CONVEY et Mc KAY, (1981) pour l'adsorption de l'Acid Blue 25 sur la sciure d'épicéa. Enfin ASFOUR *et al.*, (1985), Mc CONVEY et Mc KAY, (1985), Mc KAY *et al.*, (1984), ABO-ELALA et EL-DIB, (1987) montrent que des copeaux de bois d'origines diverses sont de bons adsorbants notamment pour les colorants cationiques.

La plupart des études soulignent l'importance de la granulométrie des particules de bois (plus elle diminue, plus le matériau adsorbe rapidement) la température (augmentation de la capacité d'adsorption avec l'augmentation de la température), de l'agitation, de la nature du colorant (anionique, basique (ou cationique)). Les expériences sont menées sur un type de sciure de bois (hêtre par exemple) utilisé directement ou mélangé de sciures, également non traitées.

Le présent travail a pour but de tester sept différentes essences de bois en vue de leur utilisation pour de petits ateliers de teinturerie situés dans toutes agglomérations et, près de scieries afin d'éviter des frais de transport importants, sur plusieurs colorants, et attirer l'attention sur les difficultés rencontrées qui ne sont habituellement jamais signalées : relargage de substances organiques dans l'eau à partir de sciures, modification du pH des solutions entraînant des variations dans l'absorbance des filtrats et autres rencontrées lors du tracé des isothermes d'adsorptions ou des courbes de saturation.

1 - PRODUITS ET MÉTHODES

1.1 Produits

Les essences de bois utilisés sont : le chêne, le sapin, le hêtre, le châtaignier, le pin Douglas et le bouleau. Les sciures sont séchées jusqu'à poids constant et conservées dans des flacons fermés. Excepté la sciure de hêtre de granulométrie comprise entre 0,3-0,8 mm, les sciures sont utilisées pour une granulométrie comprise entre 0,5 et 1 mm sans traitement.

Les colorants utilisés dans cette étude (tableau 1) sont des produits fournis par la société CIBA-GEIGY².

Tableau 1 Caractéristiques des colorants utilisés (CIBA-GEIGY).

Table 1 Properties of dyes (CIBA-GEIGY).

Colorant	λ_{max} nm	ϵ_{max} l.g ⁻¹ cm ⁻¹	Type	Mas g/m ³
Orange Néclane G (ONG)	468	19,4	anionique	-
Jaune Lanaset 4G (JL4G)	408	19,75		
Noir Lanaset B (NLB)	568	6,90		
Ecarlate Cibacrome (F3G)	500	25,8		
Bleu Cibacrome FR (BCFR)	600	27,5		
Acid Blue 60 (AB 60)	625	22,4	anionique	
Basic Red 22 (BR 22)	538	67,8	cationique	
Acid Blue 25 (AB 25)	600	20,2	anionique	

1. Cette étude a été réalisée dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région Limousin 1984-1988.

2. Nous remercions la société CIBA-GEIGY pour la fourniture gracieuse des colorants.

Les indications physicochimiques obtenues pour ces différents colorants sont souvent fragmentaires et non communiquées, en général, par le fabricant (notamment pureté et formule chimique). λ_{\max} est la longueur d'onde du maximum d'absorption dans le visible, ϵ_{\max} est le coefficient d'absorption relatif à la loi de Beer-Lambert $A = \epsilon \cdot l \cdot c$, lorsque l'absorbance A est proportionnelle à la concentration C du colorant en solution dans l'eau distillée (pH = 5,5).

Sauf indication contraire, les solutions utilisées pour les essais sont à 25 mg.l⁻¹ en produit commercial non purifié afin que les résultats soient les plus proches de ceux que l'on pourrait obtenir sur un effluent industriel.

1.2 Méthodes

1.2.1 Essais en réacteur discontinu

On introduit dans 6 flacons de 500 ml, 100 ml d'eau distillée ou 100 ml de solution de colorant à 25 mg.l⁻¹. Dans chacun des flacons on ajoute 5 g de sciure sèche et l'ensemble est agité à l'aide d'un agitateur AGITELEC à température de 20-22 °C. On peut noter que lors du mouillage, la sciure sèche peut absorber jusqu'à 50 % de son poids d'eau. Pour un temps de contact déterminé, un flacon contenant le mélange eau-sciure et un flacon contenant le mélange solution colorant-sciure sont retirés ; 50 ml de la suspension sont alors centrifugés pendant 15 min. Le colorant résiduel non adsorbé est dosé à son maximum d'absorption à l'aide d'un spectrophotomètre Jouan SP320 visible. La même mesure est réalisée sur la solution sciure-eau distillée.

1.2.2 Essais en réacteur continu

La sciure, dont le poids est connu, est placée dans un réacteur cylindrique de section 1,43 cm² et de hauteur variable (32,5 ; 51 et 74 mm) ou dans un réacteur de diamètre 4 cm et de hauteur 40 cm. Les réacteurs sont alimentés de bas en haut (lit fixe). La vitesse de passage a été fixée à 1,03 m.h⁻¹ pour les petites colonnes et 3 m.h⁻¹ pour la plus importante. Deux précautions doivent être prises : mouillage de la sciure, élimination des bulles d'air, réglage du débit d'alimentation en solution de colorant ; 1 litre de sciure de hêtre sèche contient 340 g de sciure. Les analyses de DCO sont réalisées selon la norme NF T 90-101 et exprimées en mg.O₂ par gramme de sciure sèche.

2 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

La mise en suspension dans l'eau de sciures de bois peut entraîner un certain nombre de problèmes, à notre connaissance jamais signalés dans la littérature, tels que le relargage de matières minérales et organiques plus ou moins colorées pouvant modifier les caractéristiques de l'eau notamment en ce qui concerne le pH, la composition ionique, la turbidité, la couleur...

Lors des essais, nous avons tenu compte des variations de la composition de l'eau provenant du relargage des sciures, et, suite au relargage important de certaines sciures, abandonné l'étude de celles-ci.

2.1 Evaluation du relargage des sciures de bois dans l'eau

Afin de choisir les sciures de bois les mieux adaptées au traitement des eaux colorées nous avons étudié par mesure, sur les solutions filtrées, de l'absorbance, des DCO et du pH, leur comportement lorsqu'elles sont placées en suspension dans l'eau.

Les résultats (fig. 1) permettent de classer les sciures de bois en deux groupes : l'un constitué par les sciures de chêne, châtaignier et pin Douglas pour lesquelles les substances relarguées provoquent une absorbance très forte et l'autre constitué par les sciures de hêtre, peuplier, bouleau et de sapin.

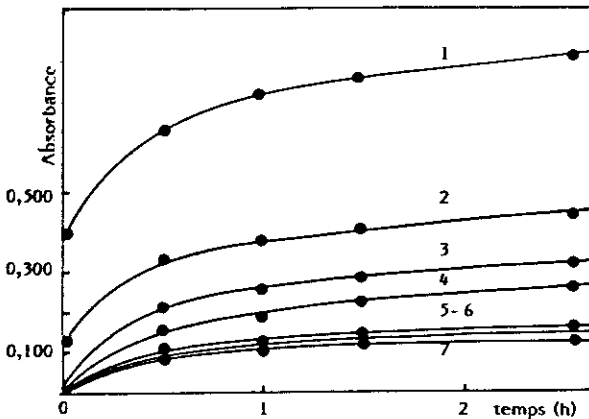


Figure 1 Evolution du relargage de sciures de bois pour $\lambda = 468 \text{ nm}$ (5 g de sciures dans 100 ml d'eau, pH initial = 5,5 ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$). (1) Chêne ; (2) châtaignier ; (3) pin Douglas ; (4) bouleau ; (5) sapin ; (6) peuplier ; (7) hêtre.

Influence of type of wood sawdust on the evolution of the absorbance of solution ($\lambda = 468 \text{ nm}$; sawdust : 5 g in 100 ml water ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

(1) oak ; (2) chestnut ; (3) Douglas pine ; (4) silver birch ; (5) fir ; (6) poplar ; (7) beech.

Le tableau 2a indique les résultats que nous avons obtenus par l'analyse DCO sur les échantillons filtrés. Les DCO de sciures de chêne, de châtaignier et de pin Douglas sont élevées comme le laissent prévoir les courbes relatives à l'absorbance des solutions. On observe cependant quelques inversions : la sciure de bouleau donne une DCO assez élevée alors que celle de sapin donne la DCO la plus faible de toutes les sciures malgré une absorbance de relargage relativement forte. Nous avons donc retenu pour cette étude les sciures de hêtre, de peuplier, de sapin et, malgré sa DCO élevée, la sciure de bouleau.

Tableau 2a DCO (mg.O₂) provoquée par 1 g de [sciure (5 g) dans l'eau distillée (100 ml) et à pH = 2 ; temps de contact : 2 h ; t °C = 20 ± 2].

Table 2a COD (mg.O₂) of sawdust (1 g). (Sawdust : 5 g in 100 ml distilled water and water pH = 2, contact time : 2 h, t °C = 20 ± 2.

Bols	Chêne Oak	Sapin Firtrees	Hêtre Beech	Peuplier Poplar	Châtaignier Chestnut	Pin Douglas Douglas Pine	Bouleau Birch	
DCO (mg.O ₂ .g ⁻¹)	Eau distillée	60	10,5	17	13,5	39,5	27	31,5
	Eau à pH = 2		7	10	4			23

Tableau 2b Caractérisation du relargage des bois.

Table 2b Caracterisation of wood rejection : % of organic and mineral substances and colour of dry residue.

Bois	% matières organiques	% matières minérales	Couleur de la poudre après minéralisation
Sapin	13	87	marron clair
Peuplier	34	66	noire
Bouleau	8	92	grise

2.2 Caractéristiques des filtrats de suspensions de sciures de hêtre, de bouleau, de peuplier et de sapin dans l'eau

La concentration résiduelle des colorants obtenue après adsorption étant déduite de la mesure de l'absorbance, il est donc nécessaire de connaître avec le plus de précision possible l'absorbance due au relargage des sciures et ceci aux longueurs d'onde correspondant au dosage de chacun des colorants et pour des pH déterminés. Dans le cas où l'on ne tiendrait pas compte de ce relargage, les mesures en réacteur discontinu n'auraient plus grande signification.

2.2.1 Influence des sciures sur l'absorbance

Les résultats reportés dans les figures 2 et 3 indiquent à titre d'exemple, l'évolution en fonction du temps du relargage de la sciure de hêtre et de peuplier pour des pH respectivement de 5,8 et de 7,5 (5 g de sciure dans 100 ml d'eau distillée à pH = 5,6). Des résultats similaires sont obtenus pour le bois de bouleau et pour le sapin.

Pour des temps identiques, les absorbances augmentent quand la longueur d'onde diminue, ce qui est conforme à ce que l'on attend puisque le maximum d'absorption du relargage se situe dans l'ultra-violet (très forte absorption à 277 nm et à 200 nm).

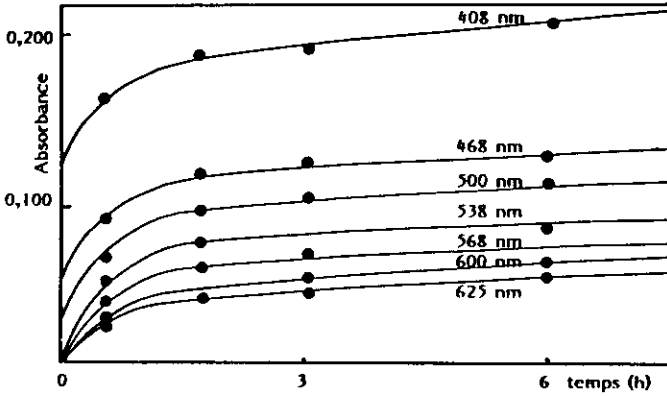


Figure 2 Evolution du relargage de la sciure de hêtre pour différentes longueurs d'onde (5 g de sciure dans 100 ml d'eau, pH final = 5,8 ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Effect of beech sawdust on the absorbance of solution for different wavelengths (sawdust : 5 g in 100 ml water, final pH = 5,8 ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

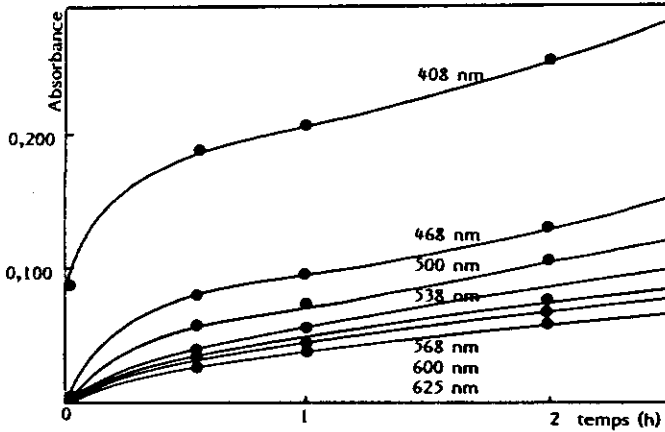


Figure 3 Evolution du relargage de la sciure de peuplier pour différentes longueurs d'onde (5 g de sciure dans 100 ml d'eau, pH final = 7,5 ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Effect of poplar sawdust on the absorbance of solution for different wavelengths (sawdust : 5 g in 100 ml water, final pH = 7,5 ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Un essai de caractérisation des matières relarguées a été effectué : dans le tableau 2b est porté le pourcentage des matières minérales et organiques du résidu sec ainsi que la couleur du résidu après minéralisation. On remarque que c'est le bouleau qui présente la plus grande proportion de matières minérales qui sont probablement des sulfures étant données la couleur noire et les odeurs nauséabondes dégagées à partir de 40°C ; les

sulfures présentent une forte demande en oxygène, en accord avec les résultats du tableau 2a.

Pour l'importance du relargage on observe la séquence suivante :

bouleau > sapin > peuplier > hêtre

Des expériences destinées à montrer la variation en fonction du temps de l'absorbance et de la DCO du filtrat de suspensions de sciures dans l'eau ont été réalisées pour des suspensions ajustées à $\text{pH} = 2$ par l'acide chlorhydrique. Les figures 4 et 5 indiquent les résultats obtenus pour la variation de l'absorbance en fonction du temps pour deux longueurs d'onde et pour chaque sciure, et le tableau 2, les résultats obtenus dans chacun des cas.

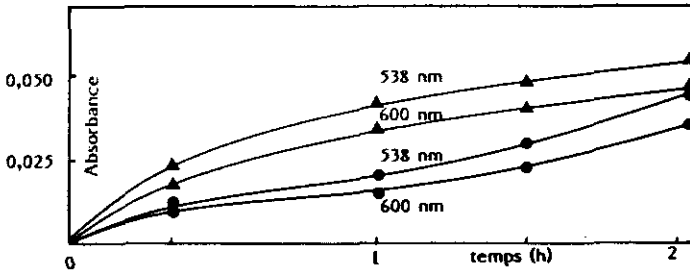


Figure 4 Evolution du relargage pour la sciure de hêtre (▲) et pour la sciure de peuplier (●) ($\text{pH} = 2$) ; 5 g de sciure dans 100 ml d'eau distillée) pour deux longueurs d'onde ($t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Evolution of the absorbance of the solution for beech sawdust (▲) and poplar sawdust (●) (initial $\text{pH} = 2$, sawdust : 5 g in 100 ml water ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$) and for two wavelengths.

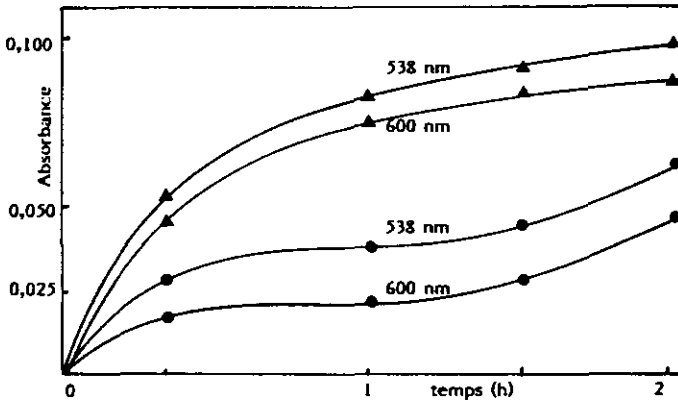


Figure 5 Evolution du relargage pour la sciure de bouleau (▲) et pour la sciure de sapin (●) ($\text{pH} = 2$; 5 g de sciure dans 100 ml d'eau distillée) pour deux longueurs d'onde ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Evolution of the absorbance of the solution for silver birch sawdust (▲) and for fir sawdust (●) (initial $\text{pH} = 2$; sawdust : 5 g in 100 ml water ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$) and for two wavelengths.

La comparaison des courbes (fig. 4 et 5) avec celles des figures 2 et 3 (mentionnées pour exemple) montre qu'un milieu acide diminue le relargage des sciures, ce qui est confirmé par la mesure des DCO des filtrats (tableau 2) pour lesquels on obtient un classement identique à celui des absorbances (on constate qu'à $\text{pH} = 2$ la sciure de peuplier dégage des odeurs nauséabondes).

2.2.2 Influence des sciures sur le pH de la suspension

Les courbes de la figure 6 traduisent la variation du pH des suspensions pour les quatre sciures étudiées pour un pH initial de 5. Le pH se stabilise rapidement au bout de 5 min de temps de contact aux valeurs suivantes : 5 pour le bois de sapin ; 7,4 pour le peuplier ; 5,7 pour le hêtre ; 4,2 pour le bouleau.

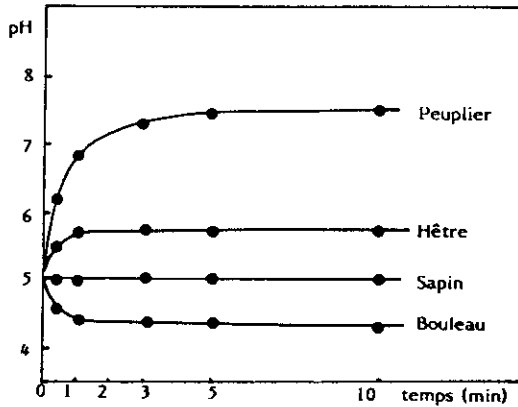


Figure 6 Influence du type de sciures sur le pH final des filtrats (5 g de sciure dans 100 ml d'eau, pH initial = 5 ; agitation pour des temps variables ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Effect of sawdust on final pH of solution (sawdust 5 g in 100 ml water ; initial pH = 5 ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Les résultats expérimentaux montrent, d'une part que le pH est fonction de la quantité de sciure et, d'autre part, qu'au-delà d'un poids de 50 g.l^{-1} , il n'y a plus de variations. Le dosage de l'acidité des solutions due à la sciure en mole de H_3O^+ par kg de sciures sèches, pour le bouleau, le peuplier, le sapin est respectivement de : 0,24 ; 0,052 ; 0,054.

La modification du pH des suspensions par les sciures pour les essais en réacteur doit être prise en compte lors de la mesure des absorbances pour les divers colorants, ce qui n'apparaît jamais dans les travaux cités.

Lorsque les sciures sont placées dans une solution rendue basique ($\text{pH} = 10 \pm 0,2$) par addition de quelques gouttes de NaOH 1N, les résultats de la figure 7 indiquent qu'après 20 min de temps de contact on obtient la stabilisation du pH de la suspension pour les valeurs suivantes : hêtre : 5,8 ;

bouleau : 4,3 ; sapin : 5 ; peuplier : 8,5. Ces valeurs sont identiques à celles obtenues pour des suspensions de sciures dans l'eau distillée à pH initial de 5,5 (fig. 6). Les sciures de hêtre, de sapin, de bouleau à pH = 10 ou pH = 2 ont une action qui se traduit par un pH d'équilibre nettement marqué.

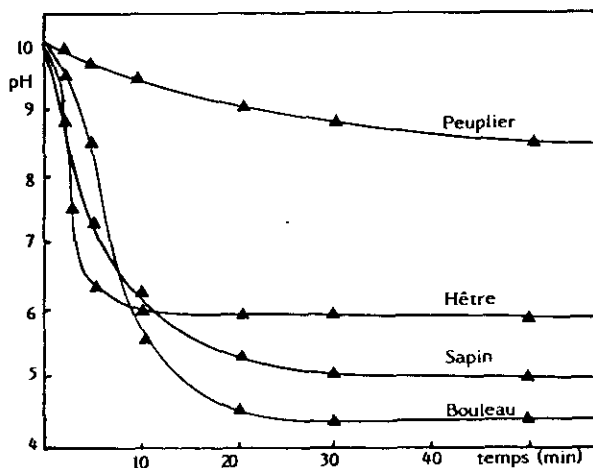


Figure 7 Influence du type de sciure sur le pH final des filtrats en fonction du temps (pH initial = 5 g de sciure dans 100 ml d'eau distillée ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Effects of time and type of wood sawdust on the final pH of solution (initial pH = 10 ; sawdust : 5 g in 100 ml water ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

2.3 Elimination de différents colorants de l'industrie textile sur des sciures de bois en réacteur discontinu

2.3.1 Etude de l'équilibre

Les essais sont menés conformément au mode opératoire décrit. La concentration du colorant dans l'eau distillée est de 25 mg.l^{-1} et les valeurs utilisées pour les calculs sont celles mesurées à l'équilibre après deux heures de temps de contact et déduction faite de l'absorbance due au relargage des sciures aux valeurs de pH étudiées. Les résultats seront donnés en pourcentage de décoloration pour ne pas surcharger le texte par les valeurs des absorbances de solution initiale, de solution finale et des relargages. Dans le tableau 3 sont indiqués pour chaque colorant testé à pH initial de 5,6 et pour chaque sciure, les pourcentages d'élimination des colorants.

2.3.2 Influence du pH

Afin d'évaluer l'influence du pH, nous avons opéré avec des solutions de colorant à pH initial = 2 (BR 22 et AB 25). Le mode opératoire est identique à celui utilisé pour les solutions à pH = 5,6. Le pH est régulé par addition de

H_2SO_4 et les expériences menées en fonction du temps jusqu'à obtention de l'équilibre. Les résultats du tableau 4 concernent les essais de 120 min. compte tenu des variations d'absorbance correspondant au relargage et au pH.

On constate, aussi bien pour le colorant anionique (AB 25) que pour le colorant cationique BR 22, que les rendements ont été sensiblement modifiés, et que (comparaison des résultats des tableaux 3 et 4) le milieu acide favorise l'adsorption du colorant anionique alors qu'il semble diminuer légèrement celle du colorant cationique. Les molécules de colorant anionique sont devenues plus adsorbables sur un milieu adsorbant enrichi en charges positives.

Tableau 3 Taux de décoloration en % de divers colorants sur différentes sciures (temps de contact : 2 h, pH d'équilibre des sciures).

Table 3 *Removal of colour (%) for solution and for different types of sawdust (contact time : 2 h).*

	Sciures	Colorant (25 mg.l ⁻¹)				Dose de sciure (50 g.l ⁻¹)			
		JL4G	NLB	ECF3G	ONG	BCFR	AB 25	AB 80	BR 22
Taux de décoloration en %									
	Hêtre	94,5	91	64	62,5	38,5	99,4	55	97,5
	Peuplier	72,5	37,6	9,1	38,4	16	86,5	20	99,5
	Bouleau	100	100	90	75	67	94	72	99,5
	Sapin	44	54	7	32	4	84	22	96

Tableau 4 Taux de décoloration en % pour les colorants AB 25 et BR 22 (pH = 2 ± 0,2, temps de contact 2 h).

Table 4 *Removal of colour (%) for AB 25 and BR 22 (pH = 2 ± 0,2 ; contact time : 2 h).*

	Sciure	Colorant (25 mg.l ⁻¹)	
		AB 25	BR 22
Taux de décoloration en %			
	Hêtre	100	93,5
	Peuplier	100	87
	Bouleau	100	87
	Sapin	94	92

Avant de traiter une solution acide contenant des colorants cationiques, il sera préférable d'amener son pH au-dessus de 5, ce qui correspond aux résultats trouvés par PERINEAU *et al.*, 1983, pour l'adsorption du BR 22 sur le déchet lainier de carbonisage. Ces auteurs ont également constaté que l'adsorption d'un colorant anionique est meilleure à pH = 2 qu'à pH = 5 sur ce même déchet.

2.3.3 Influence de la température et de la granulométrie

Nous avons effectué des essais à 15 et 35 °C avec le bois de hêtre, de peuplier et de bouleau. Les résultats obtenus pour les colorants testés : NLB, AB 25, BR 22, et pour un temps de 2 h n'ont pas montré de variations significatives, compte tenu de l'évolution du relargage avec la température, comme ceux obtenus classiquement par PERINEAU *et al.*, 1983 (colorants – déchets lainier), ASFOUR *et al.* 1984 (colorant – sciure de hêtre). L'aspect physique de la sciure de bouleau semble subir certains changements à la température de 35 °C, les résultats alors ne sont plus reproductibles.

Des essais sur de la sciure de hêtre et de peuplier pour des granulométries différentes ont montré des temps d'atteinte de l'équilibre d'autant plus courts que la granulométrie est plus fine, en accord avec ceux de Mc CONVEY, Mc KAY, (1985). Dans ce travail, les sciures ont été utilisées presque en l'état 0,3-0,8 mm pour le hêtre et 0,5-1,5 mm pour les autres bois pour reproduire les conditions d'utilisation réelle.

2.4 Isothermes d'adsorption d'équilibre

• Les essais à partir desquels ont été tracées les isothermes d'adsorption sont menés en réacteur discontinu selon le mode opératoire suivant :

- solution de colorant à 50 mg.l⁻¹,
- doses variables de sciure de bois : peuplier, sapin, hêtre, bouleau, 1 à 60 g.l⁻¹,
- temps de contact 3 h, température 20-22 °C.

Chaque essai est reproduit 3 fois pour éliminer certains résultats aberrants. Les points portés sur les courbes représentent la moyenne de ces résultats mais tous les points ont été traités dans la linéarisation.

Les courbes de saturation ont été tracées à partir des résultats obtenus sur des solutions de colorants de concentrations variables (2,5 à 10⁴ mg.l⁻¹) et des doses de sciures de 50 g.l⁻¹ (un exemple est donné sur la figure 8).

• Pour tracer les isothermes nous avons utilisé l'équation de Langmuir (préférée à celle, empirique, de Freundlich) linéarisée sous la forme :

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{K\Gamma_{\infty}} \frac{1}{C_r} \quad (\text{STUMM et MORGAN, 1981})$$

C_r = concentration résiduelle de colorant à l'équilibre mg.l⁻¹ ou mmol.l⁻¹

K = constante thermodynamique de l'équilibre (l.mg⁻¹ ou l.mmol⁻¹) à la température T

Γ = capacité d'adsorption = Cad/m et Γ_{∞} = capacité théorique maximale d'adsorption en mg.g⁻¹ ou mmol.g⁻¹. Cad/m : quantité absorbée par unité de masse d'adsorbant

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 5.

Les résultats pour le colorant NLB sont exprimés en mg.g⁻¹ pour Γ_{∞} et en l.mg⁻¹ pour K car la masse molaire n'est pas connue.

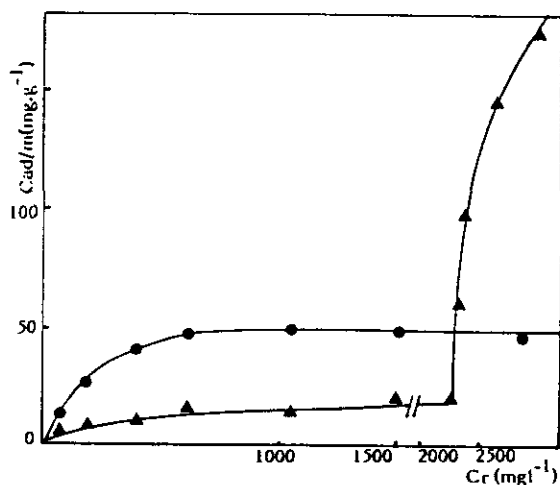


Figure 8 Courbe de saturation pour le colorant BR 22 (●) et pour le colorant AB 25 (▲) avec la sciure de peuplier ($t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Adsorption isotherms for the adsorption of BR 22 (●) and AB 25 (▲) on poplar sawdust ($t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Tableau 5 Capacités théoriques d'adsorption et constantes de Langmuir pour l'adsorption de divers colorants sur la sciure de bois.

Table 5 *Adsorption capacities and Langmuir constants for the adsorption of dyes on wood sawdusts.*

Sciure	Colorant	Γ_{∞} (mmol.g ⁻¹)	K (l.mmol ⁻¹)	Coefficient de corrélation
Hêtre	AB 25	$8 \cdot 10^{-3}$	23	0,957
	BR 22	$210 \cdot 10^{-3}$	8	0,969
	AB 80	$5 \cdot 10^{-3}$	2	0,987
Sapin	AB 25	$2,7 \cdot 10^{-3}$	70	0,998
	BR 22	$60 \cdot 10^{-3}$	25	0,976
Peuplier	NLB	4 mg.g^{-1}	$8 \cdot 10^{-3} \text{ l.mg}^{-1}$	0,831
	AB 25	$5 \cdot 10^{-3}$	55	0,990
	BR 22	$90 \cdot 10^{-3}$	40	0,981
Bouleau	AB 25	$6,2 \cdot 10^{-3}$	63	0,963
	BR 22	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,856

Afin de vérifier si les résultats concernant Γ_{∞} et provenant de l'extrapolation au milieu concentré ($1/C_r$ très petit) de valeurs mesurées à partir d'un milieu dilué, sont fiables, nous avons réalisé des essais de saturation avec les colorants BR 22 et AB 25 pour des concentrations variables et une dose de sciure de peuplier de 50 g.l^{-1} . Les points obtenus ont été utilisés pour tracer les isothermes selon la forme linéarisée de Langmuir ; les résultats sont exposés ci-dessous.

2.4.1 Colorant BR 22 (cationique)

La courbe de saturation (*fig. 8*) a été réalisée avec une dose en sciure de peuplier de 40 g.l^{-1} et des concentrations croissantes en colorant ($2,5$ à $10\,000 \text{ mg.l}^{-1}$). La saturation a été obtenue à partir d'une concentration initiale en colorant de $5\,000 \text{ mg.l}^{-1}$; la capacité à saturation étant alors de 48 mg.g^{-1} ($170 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$) soit presque le double des valeurs indiquées précédemment ($\Gamma_{\infty} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$) et, à peine moins que la valeur donnée par PERINEAU *et al.*, (1983) qui est de $193 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$ sur fibre de laine carbonisée.

On remarque, (*tableau 5*) que ce colorant est celui qui s'adsorbe le mieux sur toutes les sciures retenues; les capacités ultimes s'échelonnent de 50 à $200 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$. Les constantes d'équilibre sont plus faibles avec les sciures de hêtre et de bouleau, ce qui est peut-être dû au pH acide des suspensions (compétition avec les ions H^+).

2.4.2 Colorant AB 25

La courbe de saturation (*fig. 8*) a été réalisée de la même façon que pour le colorant BR 22 et présente deux parties :

– On obtient, tout d'abord, une courbe de forme classique conduisant à une capacité à saturation de 20 mg.g^{-1} ($48 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$), ce qui est supérieur aux valeurs données par POOTS *et al.*, sur la tourbe ($22,4$ à $39,1 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$, (1975) et sur la sciure d'épicéa ($16,7$ à $27,8 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$, 1976) ainsi que par Mc KAY *et al.*, (1984) sur l'argile réfractaire ($16,8 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$) et la silice ($12 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$). On peut remarquer que cette valeur de $\Gamma_{\infty} = 48 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$ est dix fois plus importante que la valeur obtenue par extrapolation en milieu dilué (*tableau 5*).

– Pour une concentration initiale (C_0) de colorant AB 25 égale ou supérieure à $5\,000 \text{ mg.l}^{-1}$ (concentration résiduelle (C_r) supérieure à $2\,300 \text{ mg.l}^{-1}$) on observe une augmentation de la capacité d'adsorption jusqu'à des valeurs de $160 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.l}^{-1}$ ($C_0 = 5\,000 \text{ mg.l}^{-1} = 12 \text{ mmol.l}^{-1}$, $C_r = 2\,323 \text{ mg.l}^{-1} = 5,58 \text{ mmol.l}^{-1}$) et $420 \cdot 10^{-3} \text{ mmol.g}^{-1}$ ($C_0 = 24 \text{ mmol.g}^{-1}$, $C_r = 7,16 \text{ mmol.l}^{-1}$). Cette augmentation brutale peut être probablement attribuée à une micellisation des molécules d'AB 25 : les sites d'adsorption ou d'échange de la sciure n'étant plus occupés par une seule molécule mais par une micelle regroupant plusieurs molécules. Ceci est confirmé par la courbe donnant l'évolution de la tension superficielle γ en fonction du logarithme de la concentration. On obtient une concentration micellaire critique (CMC) comprise entre $1,5$ et $3,3 \text{ g.l}^{-1}$ (*fig. 9*). Ce phénomène peut conduire à une augmentation de la capacité d'adsorption lorsque la concentration du colorant dans la solution à traiter est supérieure ou égale à la CMC.

Globalement, en milieu dilué le colorant AB 25, et celui de même type AB 80, s'adsorbent 10 fois moins que le colorant de type cationique BR 22 puisque les capacités d'adsorption varient de $0,003$ à $0,007 \text{ mmol.g}^{-1}$ selon les sciures utilisées avec une exception pour la sciure de peuplier.

2.5 Elimination de colorants par de la sciure de hêtre en réacteur continu

Tous les modèles de la littérature sont basés sur les résultats donnés par la détermination de la courbe de fuite. Nous avons utilisé le modèle du « Bed Depth Service Time » décrit par DOLE et KLOTZ (1946) et HUTCHINS (1973), le temps de service d'une colonne est donné par l'équation :

$$t = \frac{N_0}{C_0 u} \left[L - \frac{u}{k N_0} \ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) \right] \text{ de la forme } t = a L + b$$

N_0 : capacité d'adsorption

k : constante d'adsorption

u : vitesse de passage de l'effluent à travers le lit

C_0 : concentration du soluté dans l'effluent

L : hauteur du lit

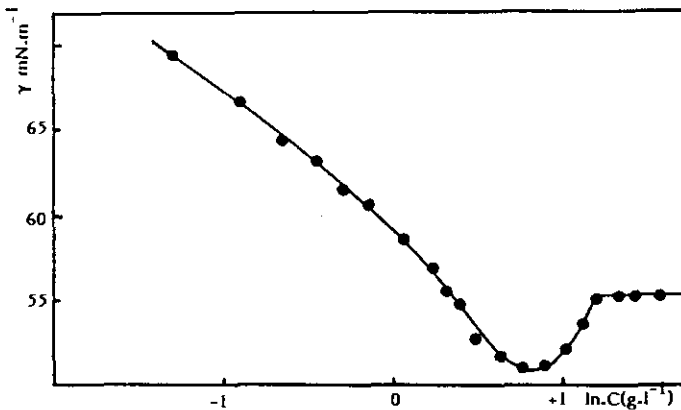


Figure 9 Evolution de la tension superficielle du colorant AB 25 avec le logarithme népérien de la concentration exprimée en $g.l^{-1}$.

Evolution of the superficial tension of AB 25 dye with neperien logarithm of concentration ($g.l^{-1}$).

2.6 Essais sur minicolonnes

Les résultats sont les suivants :

Colorant AB 25 $C_0 = 25 \text{ mg.l}^{-1}$

L'équation est de la forme $t = aL$ pour une concentration de fuite $C_t = 20\% C_0$ $a = 49,8$, pour t exprimé en h et L en m. L'essai sur la colonne de 3,2 cm est porté sur la fig. 9bis. A partir de $\frac{N_0}{C_0 u}$, étant donné que $u = 1,03 \text{ m.h}^{-1}$, on obtient $N_0 = 1,28 \text{ g.l}^{-1}$, soit une élimination de 0,4 %. On peut noter que le front d'adsorption est très faible (hauteur négligeable $b = 0$).

Colorant BR 22 $C_0 = 25 \text{ mg.l}^{-1}$

Dans les mêmes conditions expérimentales, la droite $t = f(L)$ est également de la forme $t = aL$ avec $a = 106,7$ ce qui conduit à un pourcentage d'élimination double = 0,8 %. L'essai sur la petite colonne est portée sur la figure 9bis.

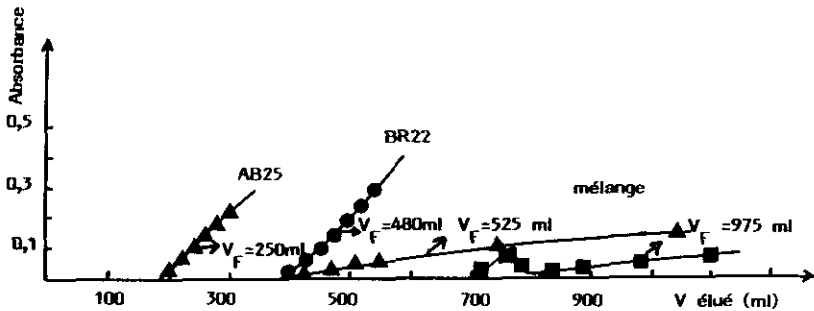


Figure 9bis Courbes de percée des colonnes pour les colorants seuls et en mélange.
Breakthrough curves for single dyes and their mixture.

Mélange des colorants AB 25 et BR 22

Les concentrations de chaque colorant sont également de 25 mg.l^{-1} . Le mélange présente une seule bande d'absorption dans le visible à 537 nm ; (la bande d'absorption du bleu AB 25 a pratiquement disparu).

On a probablement la formation d'un complexe neutre anionique-cationique. Le temps de fuite est fortement allongé et c'est le colorant bleu AB 25 qui migre en premier, mais avec une pente d'adsorption très faible, (fig. 9bis), l'équation de fuite est : $t = 148,6 L - 0,945$. Le mélange apparaît beaucoup plus tard avec un temps de fuite de la forme $t = 221,6 L$. Le pourcentage d'élimination de l'AB 25 est de 1,1 % et celui du BR 22 complexé avec l'AB 25 de 1,7 %. L'élimination de ce type de complexe neutre est favorisé, mais les rejets industriels sont le plus souvent constitués de mélanges de colorants anioniques ce qui est moins favorable comme on le voit plus loin.

2.7 Essais sur colonnes

Des essais avec 20 et 30 grammes de sciure de hêtre ont été réalisés avec des vitesses de passage plus grandes, mieux adaptées à des débits industriels.

Le calcul des quantités adsorbées est encore réalisé lorsque la fuite en colorant atteint une absorbance égale à 20 % de l'absorbance de la solution à traiter (fig. 10 et 11). Contrairement aux essais en réacteurs discontinus, les substances relarguées sont éliminées rapidement comme le montrent les courbes (fig. 10 et 11), l'effluent est devenu limpide avant que la fuite de

colorant n'apparaisse. Le relargage n'intervient plus si le matériau est auparavant lavé.

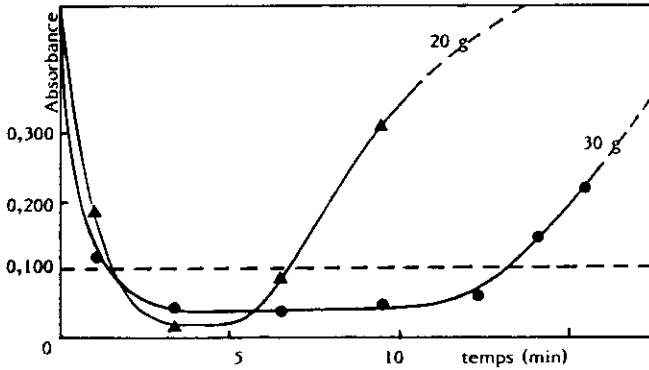


Figure 10 Evolution de la qualité du filtrat (colorant AB 25, sciure de hêtre 20 et 30 g, essai en colonne ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Breakthrough curves in a fixed bed (20 and 30 g) of sawdust beech for AB 25 ($t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

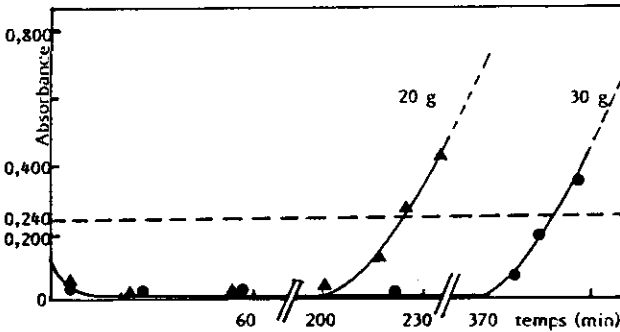


Figure 11 Evolution de la qualité du filtrat (colorant BR 22, sciure de hêtre 20 et 30 g, essai en colonne ; $t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Breakthrough curves in a fixed bed (20 and 30 g) of sawdust beech for BR 22 ($t^{\circ}\text{C} = 20 \pm 2$).

Les courbes de la figure 10 montrent les résultats obtenus pour le colorant AB 25, pour deux masses de sciure de 20 et 30 g et pour des débits respectifs de 3,6 et 2,4 l.h⁻¹ (environ 3 m.h⁻¹ de vitesse de passage). La quantité moyenne adsorbée (0,45 mg.g⁻¹ soit 0,045 % indique qu'une masse de 1 kg de sciure de hêtre sèche permettrait de traiter seulement 18 l de colorant AB 25 à 25 mg.l⁻¹. On peut noter que la capacité d'adsorption est beaucoup plus faible qu'avec les minicolonnes et que cette vitesse de

passage ne peut être retenue car l'équilibre d'adsorption n'est manifestement pas atteint.

Les courbes de la figure 11 sont obtenues selon le mode opératoire précédent et pour des débits de 3,48 et 3 l.h⁻¹. Dans ces conditions, 1 kg de sciure de hêtre sèche permettrait de traiter 650 l de solution de colorant BR 22 à 20 mg.l⁻¹ (13 mg.g⁻¹ d'adsorption en moyenne soit 1,3 %). Ce résultat est comparable à celui obtenu avec les minicolonnes.

Des essais ont été réalisés sur des effluents industriels de teinturerie constitués par un mélange de colorants et de produits chimiques variés (acétates, sulfates, carbonates...).

– Cas d'un effluent industriel de couleur rouge : pour 20 g de sciure de hêtre avec un débit de 3,9 l.h⁻¹ et une vitesse de passage de 3,1 m.h⁻¹, la fuite est observée au bout de 2 min, tandis qu'avec 30 g de sciure et un débit de 1,68 l.h⁻¹, la fuite n'apparaît qu'après un temps de 9 min. Dans ces conditions, 1 kg de sciure de hêtre sèche permettra de traiter 7,5 l d'effluent.

– Cas d'un effluent industriel de couleur bleue possédant une absorbance voisine de celle de l'AB 25 : pour 20 g de sciure et un débit de 3,3 l.h⁻¹, la fuite survient au bout de 3,5 min. Avec 30 g de sciure et 2,9 l.h⁻¹, la fuite apparaît vers 7 min. Dans ces conditions, 1 kg de sciure de hêtre permettra de traiter 10 l environ d'effluent. Les résultats plus faibles obtenus avec les effluents industriels sont sans doute liés à la composition complexe des rejets et aux compétitions d'adsorption ou d'échange des ions des produits chimiques composant le rejet. Il sera nécessaire d'ajuster le débit de passage de l'effluent sur le filtre garni de sciure de bois de façon à augmenter l'efficacité de celle-ci en lui permettant d'atteindre l'équilibre d'adsorption. Dans certains cas, il sera nécessaire pour des petites ou moyennes quantités d'opérer par batchées.

CONCLUSION

A notre connaissance, les études publiées dans le domaine de colorants utilisés dans l'industrie textile et de leur élimination par la sciure de bois, ne concernent qu'un ou deux colorants (quelquefois non employé dans l'industrie) sur un seul type de sciure de bois dont l'essence, à de rares exceptions n'est pas précisée. Également il n'a jamais été tenu compte lors des études en réacteurs discontinus et notamment pour le tracé des isothermes, du relargage de la sciure de bois et de la modification du pH des solutions, paramètres pouvant influencer les mesures d'absorbance des colorants. Dans la littérature, l'évaluation des coûts d'élimination de colorants sont estimés à partir d'expériences pour un colorant seul et comparé aux performances du charbon actif sans tenir compte des difficultés de mise en œuvre des sciures de bois et des problèmes particuliers afférents : DCO, relargage, modification du pH, fines entraînant le colmatage, tassement,

réaction entre la sciure et les produits chimiques contenus dans l'effluent, problèmes de compétition de l'adsorption ou de l'échange entre plusieurs espèces chimiques, minérales ou organiques...

L'étude du comportement dans l'eau de 7 essences différentes de sciures de bois a permis de sélectionner 4 essences dont le relargage en DCO et produits plus ou moins colorés est relativement faible : hêtre, bouleau, peuplier et sapin ; les sciures de châtaignier, chêne et pin Douglas ont été écartées du fait de l'importance de leur relargage.

Il a été constaté une modification parfois importante du pH de l'eau lors des essais en réacteur discontinu et une possibilité de neutralisation d'effluents basiques par les sciures de hêtre, sapin et bouleau.

Le pouvoir de décoloration a été testé sur 8 colorants de l'industrie textile (25 mg.l⁻¹). Les rendements de décoloration pour des doses de 50 g.l⁻¹ varient de 9 à 99,5 % selon le colorant et la nature de la sciure. Un classement peut être établi :

bouleau > hêtre > peuplier > sapin

Un milieu acide semble favoriser l'adsorption de colorants anioniques sur les sciures sélectionnées tandis qu'il inhibe celle du colorant cationique ; par contre, il n'a pas été mis en évidence une influence significative d'une augmentation de température de 15 à 35 °C.

L'établissement d'isothermes de type Langmuir et de courbes de saturation permet de déterminer les capacités ultimes d'adsorption Γ_{∞} qui sont faibles, en général (5.10⁻³ mmol.g⁻¹) pour la plupart des colorants avec une valeur maximum de 0,2 mmol.g⁻¹ pour le colorant cationique BR 22. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur ou supérieures à celles obtenues sur d'autres matériaux de ce type (déchet lainier, tourbe, bois, etc.) montrant ainsi que la sciure peut être un déchet utilisable dans ce domaine, mais seulement pour des industries de petites tailles situées à proximité des scieries.

Il semble que les opérations par batchées seraient plus appropriées aux traitements des rejets concentrés toxiques afin d'éviter les problèmes de tassement, de colmatage des sciures dans les réacteurs. La sciure saturée serait alors mise en décharge, en épandage (compost) ou brûlée après séchage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABO-ELELA S.I, EL-DIB M.A., 1987. Colour removal via adsorption on wood shaving. *The Sci. of the Total Environ.*, 66 : 269-273.
- ASFOUR H.M., NASSAR M.M., FADALI O.A., EL-GEUNDI M.S., 1985. Equilibrium studies on adsorption of basic dyes on hardwood. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 35A : 21-27.
- ASFOUR H.M., NASSAR M.M., FADALI O.A., EL-GEUNDI M.S., 1985. Colour removal from textile effluents using hardwood sawdust as an absorbent. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 35A : 28-35.
- Mc CONVEY I.F., Mc KAY G., 1981. Dimensionless mass transfer correlations for colour removal from effluent using wood

- meal as adsorbent. *Indian Chem. Engineer Calcutta*, 23 : 2, 33-37.
- Mc CONVEY I.F., Mc KAY G., 1985. Mass transfer model for the adsorption of basic dyes on woodmeal in agitated batch adsorbers. *Chem. Eng. Process.*, 19 : 267-275.
- DOLE M., KLOTZ I.M., 1946. Sorption of chloropicrin and phosgene on charcoal from a flowing gas stream. *Ind. Eng. Chem.*, 38 : 1289-1297.
- HUTCHINS R.A., 1973. Designig activated carbon systems. *Chem. Eng. (N.Y.)* 80 : 133-138.
- Mc KAY G., ALLEN S.J., Mc CONVEY I.F., 1984. The adsorption of dyes from solution : equilibrium and column studies. *Water, Air and Soil Pollution*; 21 : 127-139.
- PERINEAU F., MOLINIER J., GASET A., 1983. Adsorption de colorants ioniques sur le déchet lainier de carbonisage, *Water Res.*, 17 : 559-567.
- POOTS V.J.P., Mc KAY G., HEALY J.J., 1976. The removal of acid dye from effluent using natural adsorbents. II Wood. *Water Res.*, 10 : 1067-1070.
- POOTS V.J.P., Mc KAY G., HEALY J.J., 1978. Removal of basic dye from effluent using wood as an adsorbent. *J. Water Pollut. Control. Fed.*, 50 : 926-935.
- STUMM W. and MORGAN J.J., 1981, *Aquatic chemistry*, 2nd ed., Wiley-Interscience, New York.