

Université du Québec
INRS-Eau

Récupération de métaux en solution par adsorption sur différentes
biomasses végétales : application à des effluents industriels

par
Jean-François Fiset
B. Sc. Chimie

Mémoire présenté
pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Examineur Externe

Monsieur Mostafa Benzaazoua
URSTM
Université du Québec en
Abitibi-Témiscamingue

Examineur interne

Monsieur André Tessier
INRS-Eau
Université du Québec

Codirecteur de recherche

Monsieur Rajeshwar D.Tyagi
INRS-Eau
Université du Québec

Directeur de recherche

Monsieur Jean-François Blais
INRS-Eau
Université du Québec

mars 2001

REMERCIEMENTS

Je désire remercier d'une façon particulière le professeur Jean-François Blais, mon directeur de recherche. J'ai apprécié la disponibilité et l'encadrement qu'il a spécialement porté à mon attention tout au long de mes travaux. Je profite aussi de l'occasion pour remercier les professeurs R.D. Tyagi, André Tessier et Mostafa Benzaazoua pour leur soutien et pour avoir accepté d'évaluer mon mémoire. Je tiens à souligner toute ma reconnaissance envers le personnel de l'INRS-Eau, tant le personnel administratif que le personnel technique. Je remercie également l'Unité de Recherche et de Service de Technologie Minérale de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue pour m'avoir permis d'utiliser leur microscope électronique à balayage pour la caractérisation des adsorbants. Je suis aussi reconnaissant envers tous mes collègues de travail qui m'ont permis de passer un séjour dès plus agréable à l'INRS-Eau. Finalement, je remercie l'INRS-Eau et monsieur Jean-François Blais pour leur soutien financier.

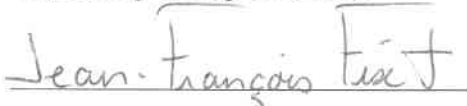
RÉSUMÉ

Le présent projet de recherche consiste à évaluer la capacité d'adsorption de différents déchets végétaux (écaillés d'arachides, copeaux de bois, mousse de tourbe, écaillés de cacao) pour la récupération économique des métaux présents dans divers types d'effluents acides.

Des essais d'adsorption en erlenmeyer ont été effectués en utilisant d'abord un lixiviat synthétique de concentrations équimolaires (0,25 mM) à un pH de 2,0 afin de vérifier la capacité d'adsorption des substrats. Il s'est avéré que le plomb s'adsorbe facilement à pH acide. Un isotherme de Langmuir a révélé que la capacité maximale d'adsorption du plomb sur des écaillés de cacao est de 7,56 mg/g. Dans le but d'améliorer les capacités d'adsorption, divers traitements chimiques ont été appliqués aux adsorbants. Un traitement à l'hydrogénophosphate de sodium a permis d'améliorer considérablement les capacités d'adsorption de la mousse de tourbe.

Les résultats ont fait état qu'il est possible d'enlever plus de 90 % du plomb de la solution synthétique à un pH de 2,0. Étant donné que la solution synthétique possède une matrice chimiquement peu chargée comparativement à un lixiviat d'origine industrielle, la capacité d'adsorption a aussi été évaluée avec succès à partir de deux autres lixiviats. L'un provenait de la décontamination de boues résiduelles de la station d'épuration des eaux usées de la Communauté Urbaine de Montréal et le second était issu de la décontamination d'un sol contaminé en métaux provenant de la ville de Montréal.

La présente étude a permis de démontrer qu'il est possible de réaliser la récupération de métaux toxiques présents dans des effluents très acides par adsorption sur des biomasses végétales peu dispendieuses.



Jean-François Fiset
(étudiant)



Jean-François Blais
(directeur de recherche)

ABSTRACT

Standards that must be met by industries discharging effluent containing heavy metals are becoming increasingly stringent. Conventional methods of achieving required concentrations of heavy metals in liquid discharge have proven to have limitations and are often very costly. The use of inexpensive organic and inorganic adsorbents to eliminate heavy metals from contaminated industrial effluent and natural waters has been shown to be an effective alternative to traditional physico-chemical methods.

This research project involves the evaluation of the adsorption capacity of various types of plant waste (peanut shells, wood chips, cacao shells, peat moss) used in the economic recovery of metals in various types of acid effluent.

The adsorption capacity of the substrates was tested by adsorption trials carried out in Erlenmeyers using, initially, an equimolar synthetic leachate (0.25mM) at a pH of 2.0. Lead was easily adsorbed onto substrates with acidic pH levels. A Langmuir isotherm demonstrated that the maximum adsorption capacity for lead is 7.56 mg/g cacao shells. With a view to improving adsorption recoveries, various chemical treatments were applied to the adsorbents. Treatment with sodium phosphate salt significantly improved the adsorption capacity of peat moss.

The results demonstrated that over 90% of the lead in a synthetic solution of pH 2.0 can be removed. Because the matrix of the synthetic solution contained a smaller load than a leachate of industrial origin, the adsorption capacity was also successfully evaluated for two other leachates. One of the leachates was the product of the decontamination of sewage sludge at the Montreal Urban Community wastewater treatment plant, and the other the product of the decontamination of metal-contaminated soil from the city of Montreal.

This study demonstrated that toxic metals can be removed from strongly acidic effluent by adsorption onto inexpensive plant biomass.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xv
LISTE DES FIGURES.....	xvii
INTRODUCTION.....	1
1 RÉCUPÉRATION DES MÉTAUX SUR DES ADSORBANTS NATURELS	3
1,1 Sciures de bois.....	3
1,1,1 Préparation physique des sciures.....	3
1,1,2 Traitement chimique des sciures	4
1,1,3 Comparaison des capacités d'adsorption	5
1,1,4 Étude des paramètres d'adsorption.....	8
1,1,4,1 Effet du temps de contact.....	8
1,1,4,2 Effet du pH	9
1,1,4,3 Effet de la température	10
1,1,4,4 Effet de la concentration d'adsorbant	11
1,1,4,5 Effet de la taille des particules.....	12
1,1,4,6 Effet du type de contre-anions	12
1,1,5 Mécanismes d'adsorption.....	13
1,2 Écorces de bois.....	17
1,2,1 Préparation physique des écorces.....	17
1,2,2 Traitement chimique des écorces	17
1,2,3 Comparaison des rendements d'adsorption	18
1,2,4 Étude des paramètres d'adsorption.....	19
1,2,4,1 Effet du temps de contact.....	19
1,2,4,2 Effet du pH	19
1,2,4,3 Effet de la température	20
1,2,4,4 Effet de la concentration d'adsorbant	21

1,2,4,5	Effet de la taille des particules.....	21
1,2,4,6	Effet du type d'ions et de contre ions	21
1,2,5	Mécanismes d'adsorption.....	21
1,3	Mousse de tourbe.....	25
1,3,1	Préparation et traitement.....	25
1,3,2	Études des paramètres d'adsorption.....	26
1,3,2,1	Effet du pH	26
1,3,2,2	Effet de la température	26
1,3,2,3	Effet de la taille des particules.....	26
1,3,2,4	Effet du traitement chimique.....	27
1,3,3	Mécanismes d'adsorption.....	27
1,3,4	Capacité d'adsorption.....	29
1,4	Autres adsorbants naturels	29
1,4,1	Noix de coco.....	29
1,4,2	Pulpe de betterave à sucre	30
1,4,3	Farine de canola.....	30
1,4,4	Pulpe d'olive.....	31
1,4,5	Pelures d'oignons	31
1,4,6	Déchets de thé.....	31
1,4,7	Cheveux humains	32
2	<i>ISOTHERMES D'ADSORPTION.....</i>	35
2,1	Adsorption physique et chimique.....	35
2,2	Isotherme de Langmuir	36
2,3	Isotherme de Freundlich	38
3	<i>OBJECTIFS DE RECHERCHE</i>	41
3,1	Objectifs spécifiques de recherche	41
4	<i>MÉTHODOLOGIE</i>	43
4,1	Méthodologie générale.....	43
4,2	Lixiviat synthétique.....	43

4,3,1	Traitement chimique des adsorbants	45
4,3,1,1	Traitement acide	45
4,3,1,2	Phosphorylation.....	46
4,3,1,3	Phosphatation.....	47
4,3,1,4	Traitement basique	47
4,3,2	Morphologie des écailles de cacao.....	47
4,3,3	Digestion totale.....	48
4,4	Étude cinétique	48
4,5	Isotherme d'adsorption	49
4,6	Étude de désorption	49
4,7	Lixiviats de procédés de décontamination	50
4,7,1	Lixiviat de boues d'épuration.....	50
4,7,2	Lixiviat de sol contaminé	50
4,8	Mesures analytiques.....	50
4,8,1	Contrôle de qualité	51
4,8,1,1	Échantillon de contrôle.....	51
4,8,1,2	Échantillon fortifié.....	51
4,8,1,3	Réplicata	51
4,8,1,4	Blanc de méthode	52
4,8,2	Test statistique	52
5	<i>RÉSULTATS ET DISCUSSION CONCERNANT LE</i>	
	<i>LIXIVIAT SYNTHÉTIQUE</i>	55
5,1	Digestion des adsorbants	55
5,2	Essais préliminaires	56
5,3	Études cinétiques.....	57
5,4	Variation du pH.....	66
5,5	Rendement d'adsorption	69
5,5,1	Bilan du couple adsorbant-adsorbat entre le plomb et les écailles de cacao	74
5,6	Isotherme d'adsorption (simple élément).....	76
5,7	Isotherme d'adsorption (multi-éléments).....	78

5,7,1	Comparaison multi éléments par rapport à simple élément	80
5,8	Étude de désorption	81
6	RÉSULTATS ET DISCUSSION CONCERNANT LE LIXIVIAT DE BOUES D'ÉPURATION.....	83
6,1	Caractéristiques du lixiviat de boues d'épuration	83
6,2	Rendement d'adsorption	85
6,2,1	Rendement d'adsorption des substrats sans traitement chimique	89
6,2,2	Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement acide	90
6,2,3	Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement phosphate	90
7	RÉSULTAT ET DISCUSSION CONCERNANT LE LIXIVIAT D'UN SOL CONTAMINÉ.....	91
7,1	Caractérisation du lixiviat du sol contaminé	91
7,2	Rendement d'adsorption	93
7,2,1	Rendement d'adsorption des substrats sans traitement chimique	96
7,2,2	Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement acide	96
7,2,3	Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement phosphate	97
8	MORPHOLOGIE DU PAILLIS DE CACAO.....	99
8,1	Microscopie électronique.....	99
	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	105
	BIBLIOGRAPHIE.....	109
	APPENDICE A : Concentration en métaux dans le filtrat provenant du lixiviat de boues d'épuration, études cinétiques	119
	APPENDICE B : Concentration en métaux dans le filtrat provenant du lixiviat de boues d'épuration, études cinétiques	145
	APPENDICE C : Concentration en métaux dans le filtrat provenant du lixiviat d'un sol contaminé, études cinétiques.....	171

<i>APPENDICE D : Rendement d'adsorption et traitement statistique des divers adsorbants en contact avec le lixiviat synthétique.....</i>	<i>197</i>
<i>APPENDICE E : Rendement d'adsorption et traitement statistique des divers adsorbants en contact avec le lixiviat de boues d'épuration.....</i>	<i>211</i>
<i>APPENDICE F : Rendement d'adsorption et traitement statistique des divers adsorbants en contact avec le lixiviat d'un sol contaminé.....</i>	<i>225</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Études portant sur l'adsorption des métaux sur des sciures de bois.....	15
Tableau 2	Études portant sur l'adsorption des métaux sur des écorces de bois.....	23
Tableau 3	Études portant sur l'adsorption des métaux par divers matériaux naturels	33
Tableau 4	Composition du lixiviat synthétique	44
Tableau 5	Différents adsorbants naturels employés lors des essais.....	45
Tableau 6	Contenu ($\mu\text{g/g}$) en métaux des divers adsorbants.....	56
Tableau 7	Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement acide est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat synthétique)	73
Tableau 8	Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement phosphate est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat synthétique)	74
Tableau 9	Concentration en plomb sur les écailles de cacao après digestion totale	75
Tableau 10	Capacité d'adsorption et coefficient de détermination selon l'isotherme de Langmuir à pH 2 pour le plomb.....	80
Tableau 11	Capacité d'adsorption et coefficient de détermination selon l'isotherme de Langmuir à pH 2 dans la solution synthétique	81
Tableau 12	Contenu en métaux du lixiviat de boues d'épuration	84
Tableau 13	Différents paramètres du lixiviat de boues d'épuration	85
Tableau 14	Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement acide est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat de boues d'épuration)	86
Tableau 15	Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement phosphate est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat de boues d'épuration)	87
Tableau 16	Contenu en métaux du sol contaminé après digestion totale	92
Tableau 17	Concentration en métaux dans le lixiviat.....	93
Tableau 18	Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement acide est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat d'un sol contaminé)	97
Tableau 19	Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement phosphate est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat d'un sol contaminé)	98

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Structure chimique générale de la lignine	28
Figure 2	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles de cacao sans traitement	58
Figure 3	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles de cacao ayant subi un traitement acide.....	58
Figure 4	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles de cacao ayant subi un traitement phosphate.....	59
Figure 5	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur la mousse de tourbe sans traitement.....	59
Figure 6	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur la mousse de tourbe ayant subi un traitement acide	60
Figure 7	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur la mousse de tourbe ayant subi un traitement phosphate	60
Figure 8	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les copeaux de cèdre sans traitement	61
Figure 9	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les copeaux de cèdre ayant subi un traitement acide.....	61
Figure 10	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les copeaux de cèdre ayant subi un traitement phosphate	62
Figure 11	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écorces de pin gris et d'épinette sans traitement	62
Figure 12	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écorces de pin gris et d'épinette ayant subi un traitement acide	63
Figure 13	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écorces de pin gris et d'épinette ayant subi un traitement phosphate	63
Figure 14	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles d'arachides sans traitement.....	64
Figure 15	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles d'arachides ayant subi un traitement acide	64
Figure 16	Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles d'arachides ayant subi un traitement phosphate	65

Figure 17	Adsorption et phénomène de relargage des métaux avec les écailles de cacao ayant subi un traitement acide	66
Figure 18	Fluctuation du pH en fonction du temps pour les différents adsorbants non traités	67
Figure 19	Fluctuation du pH en fonction du temps pour les différents adsorbants traités en milieu acide...	68
Figure 20	Variation du pH en fonction du temps pour les différents adsorbants ayant subi un traitement phosphate.....	68
Figure 21	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants non-traités après 24 h de contact avec la solution synthétique à pH 2.....	71
Figure 22	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants traités en milieu acide après 24 h de contact avec la solution synthétique à pH 2.....	72
Figure 23	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants ayant subi un traitement phosphate après 24 h de contact avec la solution synthétique à	72
Figure 24	Isotherme de Langmuir de l'adsorption du plomb à pH 2 avec les écailles de cacao sans traitement	77
Figure 25	Isotherme de Langmuir de l'adsorption du plomb à pH 2 avec les écailles de cacao sans traitement	77
Figure 26	Comparaison des isothermes de Langmuir lors de l'adsorption du plomb sur les écailles de cacao (sans traitement) en contact avec la solution synthétique et une solution ne contenant que du plomb à pH 2.....	78
Figure 27	Rendement moyen d'adsorption des métaux après plusieurs cycles de régénération des écailles de cacao.....	82
Figure 28	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants non-traités après 24 h de contact avec le lixiviat de boues d'épuration.....	88
Figure 29	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants traités en milieu acide après 24 h de contact avec le lixiviat de boues d'épuration.....	88
Figure 30	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants ayant subi un traitement phosphate après 24 h de contact avec le lixiviat de boues d'épuration.....	89
Figure 31	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants non-traités après 24 h de contact avec le lixiviat d'un sol contaminé	94
Figure 32	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants traités en milieu acide après 24 h de contact avec le lixiviat d'un sol contaminé	95
Figure 33	Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants ayant subi un traitement phosphate après 24 h de contact avec le lixiviat d'un sol contaminé.....	95
Figure 34	Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao sans traitement chimique (45x)	100
Figure 35	Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao sans traitement (500x).....	100
Figure 36	Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao sans traitement chimique (1000x).....	101

<i>Figure 37</i>	<i>Images en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (45x)</i>	<i>102</i>
<i>Figure 38</i>	<i>Images en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (500x)</i>	<i>102</i>
<i>Figure 39</i>	<i>Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (1000x)</i>	<i>103</i>
<i>Figure 40</i>	<i>Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (1800x)</i>	<i>104</i>

INTRODUCTION

La contamination croissante des eaux usées urbaines et industrielles est un problème environnemental préoccupant. Les standards et normes imposés aux industries dont les effluents contiennent des métaux lourds sont de plus en plus exigeants. Ceci est essentiellement dû à la progression continue de la production industrielle et au développement des connaissances sur la toxicité des métaux lourds. Les méthodes traditionnelles pour enlever les métaux polluants ont montré leurs limites puisqu'elles sont incapables de réduire la concentration en métaux au niveau demandé ou sont trop dispendieuses. L'adsorption est une méthode alternative intéressante aux méthodes physico-chimiques conventionnelles telles que la précipitation des hydroxydes ou l'échange d'ions. L'utilisation d'adsorbants végétaux peu coûteux pour éliminer les métaux lourds a montré ses preuves depuis quelques années.

Afin d'intéresser les diverses industries à utiliser de nouvelles technologies pour élimination des métaux dans leurs effluents, la recherche doit s'orienter vers la mise au point de procédés économiquement viables et compétitifs par rapport aux technologies conventionnelles. Dans ce contexte, le présent projet de recherche a été entrepris pour trouver des biomasses végétales efficace pour l'enlèvement des métaux. Plusieurs études d'adsorption de métaux par des biomasses végétales sont répertoriées dans la littérature. Une revue de la littérature à ce sujet est présentée dans le mémoire afin de prendre connaissance des nombreux travaux réalisés par de nombreux chercheurs dans le domaine de l'hydrométallurgie utilisant les biomasses végétales. Cette synthèse était essentielle pour le développement de la démarche scientifique du projet. Ce projet de recherche se distingue des autres études par le fait que le processus d'adsorption a été étudié pour plusieurs métaux en milieu très acide (pH 2,0). Plusieurs études concernant l'adsorption des métaux ont été effectuées sous le seuil de précipitation des métaux permettant ainsi de réaliser l'adsorption dans un milieu davantage alcalin. Contrairement à ce qui est généralement publié à ce sujet, ce projet de recherche a donc pour principal objectif de développer des procédés d'adsorption ne nécessitant pas au préalable un ajustement du pH des effluents industriels.

Cette démarche permettrait ainsi de réduire les coûts en produits chimiques associés à l'ajustement du pH des effluents industriels favorisant ainsi l'intégration de nouvelles technologies. La démarche du projet est également originale du fait qu'elle utilise des pré-traitements chimiques issus de la littérature tout en les appliquant à des matières végétales, dont certaines d'entre-elles n'avaient jamais subi de tels traitements chimiques. L'application de traitements chimiques sur de nouvelles biomasses végétales permet d'innover et dans certains cas d'améliorer la capacité d'adsorption de certains métaux.

Le présent projet de recherche vise à évaluer la capacité d'adsorption de différents adsorbants végétaux dans des lixiviats d'origine industrielle. Dans un premier temps, les diverses biomasses végétales étudiées ont été utilisées pour traiter un lixiviat synthétique et ensuite deux lixiviats d'origine industrielle. Cette approche consiste à enlever les métaux dans divers types de lixiviats en milieu acide par un processus d'adsorption. Également, ce projet de recherche étudie l'application de divers traitements chimiques sur les adsorbants afin de vérifier s'il est ainsi possible d'améliorer leur rendement d'adsorption.

Le contenu de ce mémoire se divise en huit chapitres. Le premier chapitre présente une revue de la littérature sur la récupération des métaux par divers adsorbants naturels. Cette section regroupe une revue exhaustive sur les sciures de bois, les écorces de bois et la mousse de tourbe. De plus, d'autres substrats moins conventionnels y sont présentés. Le deuxième chapitre traite des isothermes d'adsorption, plus précisément, des isothermes de Langmuir et de Freundlich. Le troisième chapitre renferme les objectifs de recherche alors que le quatrième chapitre consiste à présenter la méthodologie. Le cinquième chapitre regroupe les résultats obtenus à partir du lixiviat synthétique. Le sixième et le septième chapitre présentent respectivement les résultats obtenus à partir du lixiviat de boues d'épuration et du lixiviat d'un sol contaminé. Le dernier chapitre regroupe des images des écailles de cacao obtenues à l'aide d'un microscope électronique à balayage.

1 RÉCUPÉRATION DES MÉTAUX SUR DES ADSORBANTS NATURELS

Ce chapitre présente en revue les différents substrats utilisés pour adsorber les métaux. Une revue exhaustive a été effectuée en ce qui concerne les sciures et les écorces de bois. Un bref aperçu de certains autres adsorbants naturels est aussi présenté.

1,1 Sciures de bois

Les résidus de coupes et de transformation du bois représentent l'une des principales biomasses étudiées pour l'adsorption des métaux. Les sciures naturelles ou traitées chimiquement de différentes espèces d'arbres ont été étudiées pour l'enlèvement de divers métaux en solution dont le cuivre, le cadmium, le plomb, le nickel, le chrome (Cr(III) et Cr(VI)), le mercure et le zinc. Les recherches ont porté principalement sur les sciures des espèces suivantes : sapin rouge (*Abies magnifica*) (Bryant *et al.*, 1992), manga (*Mangifera indica*) (Ajmal *et al.*, 1996; 1998), tilleul (*Tilia americana*) (Holan et Volesky, 1995), épinette (*Picea engelmannii*) (Holan et Volesky, 1995), pin (*Pinus roxburghii*) (Chatterjee *et al.*, 1996), cèdre (*Cedrus deodara*) (Chatterjee *et al.*, 1996), teck (*Teca*) (Shukla et Sakhardande, 1990), akamatsu (*Pinus desiflora*) et buna (*Fagas crenata*) (Morita *et al.*, 1987), ainsi que *Bassia latifolia* (Vaishya et Prasad, 1991). Le Tableau 1 présente quelques études répertoriées portant sur l'adsorption des métaux sur des sciures de bois de diverses espèces, ainsi que les principaux paramètres étudiés lors de ces recherches. Étant donné que pour plusieurs études, différents métaux ont été étudiés dans des conditions expérimentales différentes et ce, d'un chercheur à l'autre, les rendements d'adsorption n'ont pas été indiqués aux Tableaux 1 à 3.

1,1,1 Préparation physique des sciures

La préparation des sciures de bois pour l'adsorption des métaux consiste habituellement en un lavage à l'eau, suivi de leur séchage au four (100-105°C) et tamisage (Ajmal *et al.*, 1998; Vaishya et Prasad, 1991). Les sciures peuvent également être utilisées telles quelles, sans

lavage, après séchage à l'air ambiant (Bryant *et al.*, 1992).

Différentes tailles de sciures de bois ont été employées. Par exemple, des sciures de moins de 2 mm et de moins de 100 µm de diamètre ont été employées respectivement dans les études de Bryant *et al.* (1992) et de Ajmal *et al.* (1998). Dans d'autres cas, une fraction granulométrique bien définie est utilisée : 250 à 300 µm pour l'étude de Ajmal *et al.* (1996), 180 à 425 µm pour les travaux de Morita *et al.* (1987) et 420 à 1 000 µm pour les recherches de Bhargava *et al.* (1987). Pour leur part, Vaishya et Prasad (1991) ont décrit l'emploi de sciures de bois d'une granulométrie moyenne de 499 µm.

1,1,2 Traitement chimique des sciures

La capacité des sciures de bois à fixer les métaux peut également être grandement améliorée en leur faisant subir un traitement chimique pour modifier les sites fonctionnels d'adsorption. Un traitement efficace suggéré consiste en la phosphorylation par un traitement dans une solution d'acide phosphorique et d'urée (Guthrie, 1952; Holan et Volesky, 1995). Ce traitement chimique introduit un groupement phosphate à la cellulose.

D'autres traitements proposés comprennent la fixation par la formaldéhyde suivie d'une oxydation (forme oxo) par un traitement au périodate de sodium (NaIO_4), ou encore suivie d'une oxydation (forme carboxylique) par un traitement à l'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou au chlorite de sodium (NaClO_2) (Guthrie, 1952; Holan et Volesky, 1995). Les composés phénoliques labiles sont condensés par la formaldéhyde en milieu acide pour rendre insoluble les polymères contenus dans le bois (Vasquez *et al.*, 1994).

Un autre traitement suggéré consiste en une carboxyméthylation par une solution 40 % d'acide monochloroacétique en milieu basique (42 % NaOH), après fixation par la formaldéhyde (Guthrie, 1952; Holan et Volesky, 1995). La sulfoéthylation des sciures de bois par une solution d'acide 2-chloroéthylsulfonique en milieu basique représente également une autre option pour accroître la capacité de fixation des métaux de cette biomasse (Guthrie, 1952; Holan et Volesky, 1995).

D'autre part, pour l'enlèvement du Cr(VI), Ajmal *et al.* (1996) ont proposé le traitement des sciures de manga par une solution de Na_2HPO_4 0,1 M pendant 24 h, suivi d'un lavage à l'eau, puis séchage au four à 40°C.

Morita *et al.* (1987) ont décrit un traitement de la farine de bois d'akamatsu et de buna par polymérisation à l'éthylènimine (bois- $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-)_n$ -bois) puis insertion d'un groupement dithiocarbamate (bois- $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NCS}_2^-)_n$ -bois), par réaction des groupements amines secondaires avec le disulfure de carbone (CS_2).

Finalement, Shukla et Sakhardande (1990) ont suggéré le traitement de sciures de bois de teck et d'autres types de végétaux avec des colorants de type monochlorotriazine. L'adsorption du cuivre, plomb, mercure et fer (Fe(III)) sur des sciures traitées avec divers colorants a été également examinée dans le document de Shukla et Sakhardande (1991).

1,1,3 Comparaison des capacités d'adsorption

La capacité de fixation des métaux est déterminée sous différentes conditions par plusieurs chercheurs. Les conditions expérimentales telles que le pH, la granulométrie, la température et le temps de contact influencent le processus d'adsorption. Cette partie du mémoire présente les résultats de plusieurs chercheurs, exprimés en quantité de métal adsorbé par unité d'adsorbant. Étant donné le grand nombre de conditions expérimentales différentes, seulement quelques conditions expérimentales seront présentées afin d'alléger le texte.

La capacité de fixation de divers métaux sur les sciures de bois a fait l'objet de plusieurs recherches. En ce qui concerne le cuivre, Ajmal *et al.* (1998) ont obtenu une capacité de fixation maximale de 10,2 mg Cu(II)/g (0,161 mmole Cu/g) de sciures de *Mangifera indica*.

L'adsorption du cuivre sur des sciures de *Abies magnifica* a également été étudiée par Bryant *et al.* (1992) à des pH se situant entre 3,0 et 5,5. Une capacité maximale d'adsorption (q_{max} , isotherme de Langmuir) de 7,1 mg Cu(II)/g (0,112 mmole Cu/g) de sciures a été mesurée à pH=5,5 lors de ces travaux.

Vaishya et Prasad (1991) ont exploré l'adsorption du Cu(II) sur des sciures de *Bassia latifolia*. La capacité maximale d'adsorption mesurée est de 4,4 mg Cu/g (0,069 mmole Cu/g) de sciures. Ces essais ont été menés à pH=7,3 en présence de 5 g/L de sciures, avec une concentration initiale de 50 mg Cu/L et à température ambiante.

Les essais d'adsorption du Cu(II) effectués par Shukla et Sakhardande (1990) ont permis d'observer une capacité d'adsorption de 46,8 mg Cu/g (0,736 mmole Cu/g) de sciures de *Teca* (20 g/L) à pH=4,5. Le traitement des sciures avec des colorants de type monochlorotriazine augmente quelques peu leur capacité d'adsorption. Une valeur maximale de 62,3 mg Cu/g (0,979 mmole Cu/g) de sciures de teck a été atteinte par un traitement au colorant *Color Index Reactive Red 31*.

D'autres travaux de recherche ont montré que les sciures de *Mangifera indica* traitées avec un sel de phosphate (24 h avec 0,1 M Na₂HPO₄) sont très efficaces pour l'enlèvement du chrome hexavalent (Ajmal *et al.* 1996). Une capacité de fixation maximale de 10 mg Cr(VI)/g (0,192 mmole Cr(VI)/g) d'adsorbant (sciures < 0,246 mm) a été obtenue.

L'adsorption du Cr(VI) sur des sciures de *Abies magnifica* a pour sa part été étudiée par Bryant *et al.* (1992) à des pH se situant entre 4,0 et 8,0. Une capacité maximale d'adsorption (q_{max} , isotherme de Langmuir) de 10,1 mg Cr(VI)/g (0,194 mmole Cr(VI)/g) de sciures a été mesurée à un pH de 4,0.

L'adsorption du Ni(II) sur les sciures de *Pinus roxburghii* et de *Cedrus deodara* a été examinée par Chatterjee *et al.* (1996). Les valeurs de q , la quantité d'adsorbat associé à l'adsorbant, (isotherme de Freundlich, section 2,3) obtenues pour les essais menés à pH=7,0 étaient de 44,7 mg Ni/g (0,762 mmole Ni/g) pour les sciures de *Pinus* et de 64,6 mg Ni/g (1,100 mmole Ni/g) pour les de sciures de *Cedrus*.

Pour leur part, Holan et Volesky (1995) ont déterminé les valeurs des paramètres du modèle de Langmuir pour l'adsorption du Cd(II), Ni(II) et Pb(II) à pH 3,5 sur des sciures de *Picea engelmannii* traitées ou non chimiquement. Les auteurs ont aussi rapporté des résultats

concernant l'adsorption de ces métaux sur les sciures de *Tilia americana*. En ce qui concerne le plomb, une capacité maximale de fixation de 12 et de 15 mg Pb/g d'adsorbant (0,058 et 0,072 mmole Pb/g) ont été déterminées respectivement avec les sciures de *Tilia* et de *Picea* non-traitées chimiquement. Ces capacités d'adsorption peuvent être augmentées appréciablement par des traitements chimiques. Ainsi, une valeur de 224 mg Pb/g d'adsorbant (1,081 mmole Pb/g) a été obtenue avec les sciures de *Picea engelmannii* ayant subi une phosphorylation.

Pour ce qui est du cadmium et du nickel, les travaux de Holan et Volesky (1995) ont montré que la phosphorylation des sciures de *Picea engelmannii* permettait d'obtenir une valeur de $q_{\max}$ de 56 mg Cd/g (0,498 mmole Cd/g) et de 26 mg Ni/g (0,443 mmole Ni/g).

De fait, les travaux de Holan et Volesky (1995) ont démontré que l'effet des modifications chimiques des sciures d'épinettes (*Picea engelmannii*) sur l'augmentation de la capacité de récupération des métaux suit approximativement l'ordre suivant : sciures non-traitées < sciures traitées au formaldéhyde < forme oxo après oxydation au périodate < forme carboxylique < carboxyméthylation < phosphorylation.

L'adsorption de Cd(II), Cr(III) et Pb(II) sur des sciures de bois a été examinée par Bhargava *et al.* (1987) avec différentes concentrations d'adsorbants (1 à 50 g/L de sciures) et d'ions métalliques (1 à 50 mg/L). Les valeurs maximales de capacité d'adsorption ont été obtenues pour les essais menés en présence de 50 g/L de sciures et avec des teneurs initiales de 1 mg métaux/L. Dans ces conditions, 94 %, 96,7% et 85% du chrome, du plomb et du cadmium ont respectivement été enlevés.

Finalement, les travaux de Morita *et al.* (1987) ont porté sur l'adsorption de Mg(II), Cu(II), U(VI), Zn(II), Cd(II), Ni(II) et Mg(II) sur des sciures de *Pinus desiflora* et de *Fagus crenata*. Les capacités d'adsorption sur les sciures ayant subi un traitement au polyéthylèneimine et mesurées lors des essais effectués à pH=6 sont les suivants : 73,1 mg Cd/g (0,65 mmole Cd/g), 69,9 mg Cu/g (1,10 mmole Cu/g), 461,4 mg Hg/g (2,30 mmole Hg/g), 4,9 mg Mg/g (0,20 mmole Mg/g), 55,8 mg Ni/g (0,95 mmole Ni/g), 499,6 mg UO₂/g (1,85 mmole UO₂/g) et 60,1 mg Zn/g (0,92 mmole Zn/g). Les résultats obtenus dans les

mêmes conditions mais avec des sciures ayant subi un traitement au polyéthylènimine suivi d'une insertion d'un groupement dithiocarbamate sont encore supérieurs pour certains métaux, dont le mercure : 110,2 mg Cd/g (0,98 mmole Cd/g), 115,7 mg Cu/g (1,82 mmole Cu/g), 996,9 mg Hg/g (4,97 mmole Hg/g), 1,2 mg Mg/g (0,05 mmole Mg/g), 41,7 mg Ni/g (0,71 mmole Ni/g), 334,8 mg UO₂/g (1,24 mmole UO₂/g) et 77,8 mg Zn/g (1,19 mmole Zn/g).

1,1,4 Étude des paramètres d'adsorption

1,1,4,1 Effet du temps de contact

Des temps de contact des solutions de métaux avec les sciures de bois très variables (ex. t=5 min à 10 jours) ont été cités dans les études d'adsorption des métaux présentées dans la littérature. Les rendements d'adsorption maximaux sont toutefois généralement atteints après un temps de contact assez court. Par exemple, Ajmal *et al.* (1998) lors de travaux effectués avec des sciures de *Mangifera indica* ont montré que le rendement maximal d'adsorption du cuivre est atteint en 1 h (mesures prises entre 0,25 et 3 h). Par la suite, ces chercheurs ont utilisé un temps de contact de 1,5 h pour étudier l'effet de divers autres paramètres.

D'autre part, Vaishya et Prasad (1991) ont également montré que l'adsorption maximale du cuivre sur des sciures de *Bassia latifolia* est atteinte après un temps de contact de 1 h (mesures prises entre 0,25 et 6 h). De même, Shukla et Sakhardande (1990) utilisèrent un temps de contact de 2 h lors de leurs essais d'adsorption du Cu(II) sur des sciures de *Teca* et sur d'autres types de matières végétales.

Les travaux de Bhargava *et al.* (1987) sur l'adsorption du Cd (II), Cr(III) et Pb(II) ont montré qu'un temps de contact de 1 h est habituellement suffisant pour atteindre un rendement maximal d'adsorption sur les sciures de bois (mesures prises entre 5 min et 6 h). Pour leur part, Chatterjee *et al.* (1996) ont employé un court temps de contact de 0,5 h lors de leur étude sur l'adsorption du Ni(II) sur les sciures de *Pinus roxburghii* et de *Cedrus deodara*.

D'autres part, un temps de contact nettement plus long, soit de 24 h a été utilisé lors des travaux sur l'adsorption du Cr(VI) sur les sciures de *Manga indica* de Ajmal *et al.* (1996). Un temps de contact de 24 h a aussi été utilisé par Bryant *et al.* (1992) lors de leur étude portant sur l'adsorption du Cu(II) et du Cr(VI) sur les sciures de *Abies magnifica*. Dans ce dernier cas, les résultats ont toutefois démontré qu'après 4 h de temps de contact, les rendements maximaux d'adsorption du Cu(II) et du Cr(VI) sont presque atteints.

Lors de leur étude sur l'adsorption de divers métaux sur des sciures de *Pinus desiflora* et *Fagas crenata*, Morita *et al.* (1987) ont utilisé un temps de contact de 96 h pour la plupart de leurs expériences. En ce qui concerne le Hg(II), les résultats présentés ont montré que plus de 70 % de ce métal est adsorbé dans la première heure de réaction.

1,1,4,2 Effet du pH

Le pH du milieu représente un paramètre agissant grandement sur la capacité de fixation des adsorbants naturels et notamment des sciures de bois. Cet effet important du pH rend d'ailleurs particulièrement difficile la comparaison de la performance des adsorbants proposés dans la littérature, puisque les conditions de pH employées sont très variées. L'effet du pH sur l'adsorption des métaux sur les sciures de bois a été étudié principalement pour le cuivre et le chrome hexavalent.

Ajmal *et al.* (1998) ont étudié le rendement d'adsorption du cuivre (concentration initiale de 170 mg Cu(II)/L) par les sciures de manga (10 g/L) dans des solutions ajustées à des pH variant entre 1 et 6. Les résultats obtenus après 1,5 h de temps de contact font état d'une augmentation du rendement d'adsorption avec la hausse du pH et ce, de 0 % à pH=1 et 2 aux environs de 60 % à pH=6. La baisse de la capacité de fixation du cuivre avec la diminution du pH a également été observée par Bryant *et al.* (1992) dans le cas des sciures de sapin rouge (60 g/L de sciures de *Abies magnifica*) et à des pH se situant entre 3,0 et 5,5. Le même phénomène a été dénoté par Vaishya et Prasad (1991) pour l'adsorption du cuivre sur des sciures de *Bassia latifolia* dans une étude réalisée avec une gamme de pH variant de 2,0 à 10,0. Dans cette étude, le pH optimum pour l'adsorption du cuivre a été ciblé à pH=7,3. La baisse de l'efficacité d'adsorption avec l'acidification du milieu s'explique par

la compétition croissante des ions H^+ avec les cations métalliques aux niveaux des sites d'adsorption de l'adsorbant.

D'autre part, l'adsorption du chrome hexavalent suit un comportement différent. Les travaux de Ajmal *et al.* (1996) portant sur l'adsorption du Cr(VI) ($C_i=40$ mg Cr/L) par les sciures de *Manga indica* (20 g/L) traitées au phosphate (24 h avec 0,1 M Na_2HPO_4) ont montré une adsorption maximale de 100 %, après 24 h de temps de contact à $pH \leq 2$ et ce, pour une gamme de pH s'étalant de 1,5 à 9,0. Cette hausse de la capacité de fixation du Cr(VI) avec la baisse du pH a également été observée par Bryant *et al.* (1992) dans le cas des sciures de *Abies magnifica* (80 g/L de sciures) testées à des pH se situant entre 4,0 et 8,0.

L'effet du pH sur l'adsorption de Mg(II), Cu(II), Zn(II), Cd(II) et Ni(II) sur des sciures de *Pinus desiflora* et *Fagas crenata* traitées au polyéthylènimine et au dithiocarbamate a été examiné par Morita *et al.* (1987). Ces recherches ont montré que l'adsorption du Cd, Ni et Zn est réduite avec la baisse du pH de la solution (pH entre 3 et 6), alors que l'adsorption du Cu et du Hg est indépendante du pH. Finalement, les tests d'adsorption du U(VI) effectués entre pH=3 et 8 sur des sciures traitées uniquement au polyéthylènimine ont montré une adsorption maximale entre pH=3 et 6,6, suivie d'une baisse très importante à des valeurs de pH plus élevés.

1,1,4,3 Effet de la température

Des courbes d'adsorption du Cu(II) sur les sciures de *Abies magnifica* en fonction du temps ont été établies pour différentes températures (15, 30, 45 et 60°C) en présence d'une concentration initiale de 220 mg/L et d'un pH constant égal à 5 (Bryant *et al.*, 1992). Ces travaux ont montré que la vitesse d'adsorption augmente avec l'augmentation de la température. Toutefois, à $T=60^\circ C$ le niveau d'adsorption diminue à un niveau inférieur à celui de 30 et 45°C. D'après ces auteurs, ce phénomène serait attribuable à la solubilisation à cette température de composés organiques à faibles poids moléculaires (ex. tannins) présents dans les sciures et étant impliqués dans l'adsorption des ions Cu(II).

L'effet de la température sur l'adsorption du cuivre a également été étudié par Ajmal *et al.* (1998). Ces recherches qui ont été menées à pH=6, ont montré une augmentation du rendement d'adsorption (modèles de Freundlich et Langmuir) du Cu(II) sur les sciures de *Manga indica* avec la hausse de la température (30, 40 et 50°C). La hausse est toutefois principalement notée entre 30 et 40°C, alors que les capacités obtenues à 50°C sont pratiquement semblables à celles de 40°C.

Les travaux effectués par Bryant *et al.* (1992) sur l'adsorption du Cr(VI) ($C_i=200$ mg Cr/L) sur les sciures de *Abies magnifica* à pH 4,0 ont montré également une hausse de la vitesse d'adsorption de ce métal avec la hausse de la température jusqu'à un maximum. Toutefois, contrairement au cas du Cu(II) aucune baisse de la cinétique d'adsorption du Cr(VI) n'a été constatée à T=60°C. Ces chercheurs ont donc suggéré que les sites d'adsorption du Cr(VI) pourraient ne pas être solubilisés à T=60°C, ou encore, que ceux-ci formeraient des complexes insolubles avec les sciures.

1,1,4,4 Effet de la concentration d'adsorbant

Évidemment, les rendements d'adsorption des métaux augmentent avec l'augmentation relative de la dose de sciures de bois par rapport à la concentration de métaux. Ce fait s'explique directement par l'augmentation du nombre de sites d'adsorption disponibles. Par exemple, Ajmal *et al.* (1998) ont montré que pour une concentration initiale de 17 mg/L de Cu(II) à pH=6, une hausse de la concentration de sciures de *Mangifera indica* (particules < 100 µm) de 2 à 12 g/L permet d'augmenter le rendement d'adsorption de 55 % à 81 %. Le rendement d'adsorption maximal est toutefois atteint à 10 g/L d'adsorbant.

La hausse des concentrations d'adsorbant, bien que bénéfique pour accroître les rendements d'adsorption, réduit pour une concentration initiale donnée de métal, les quantités de métal adsorbé par unité de masse d'adsorbant utilisé. Des exemples de ce constat ont été fournis entre autres dans l'étude de Vaishya et Prasad (1991) portant sur l'adsorption de Cu(II) sur des sciures de *Bassia latifolia* (5 à 40 g/L de sciures), ainsi que dans l'étude de Bhargava *et al.* (1987) consacrée à l'évaluation de l'adsorption de Cd(II), Cr(III) et Pb(II) sur des sciures de bois (1 à 50 g/L de sciures).

Les différences importantes en ce qui concerne les concentrations d'adsorbants utilisés dans les études répertoriées dans la littérature scientifique représentent également un obstacle majeur dans la comparaison des résultats d'adsorption des métaux. Par exemple, Bryant *et al.* (1992) ont utilisé des concentrations respectives de 60 g/L et de 80 g/L de sciures de *Abies magnifica* lors de leur étude sur l'adsorption du Cu(II) et du Cr(VI). Pour leur part, Ajmal *et al.* (1996) ont employé une teneur en sciures de *Mangifera indica* de 20 g/L pour l'adsorption du Cr(VI), alors que Chatterjee *et al.* (1996) utilisèrent une concentration de 40 g/L de sciures de *Pinus roxburghii* et de *Cedrus deodara* pour l'adsorption de Ni(II). Une teneur de 20 g/L de sciures de *Teca* a été employé par Shukla et Sakhardande (1990) pendant leurs essais d'adsorption du Cu(II).

1,1,4,5 Effet de la taille des particules

Les travaux de Ajmal *et al.* (1998) ont également permis de vérifier l'effet de la granulométrie des sciures de bois sur la capacité de fixation des métaux. Ainsi, en faisant varier la taille des particules de sciures de *Mangifera indica* (10 g/L) de < 100 µm à < 500 µm, le pourcentage d'adsorption du Cu(II) ($C_i=17$ mg Cu/L) passe de 81 à 41 % lors de tests menés à pH=6. Cette diminution du rendement d'adsorption s'explique directement par la réduction de la surface spécifique disponible pour l'adsorption. L'utilisation de particules de très petites dimensions est donc à conseiller du point de vue de l'efficacité d'adsorption des métaux. Toutefois, les particules de fines tailles peuvent occasionner des problèmes de colmatage dans les systèmes de percolation, ou encore, peuvent être difficiles à récupérer (séparation solide/liquide) et à réutiliser dans des systèmes où les sciures sont agitées directement dans l'effluent à traiter.

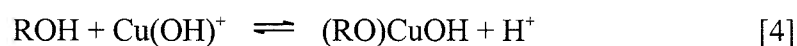
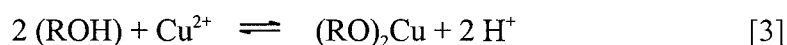
1,1,4,6 Effet du type de contre-anions

Les travaux effectués par Shukla et Sakhardande (1990) sur l'adsorption du cuivre ont montré que le type de contre-anions (chlorure, sulfate, acétate, nitrate) présents dans l'effluent à traiter affecte très peu la capacité d'adsorption des végétaux. Ulmanu *et al.* (1996) en viennent aux mêmes conclusions en ce qui concerne les sciures de bois.

1,1,5 Mécanismes d'adsorption

Selon la spéciation des métaux, les espèces sont adsorbées à la surface des sciures par un mécanisme d'échange d'ions ou par formation de lien hydrogène. Par exemple, Ajmal *et al.* (1998) ont proposé les mécanismes suivants lors de l'adsorption du cuivre sur des sciures à pH=6 :

Échange d'ions



Lien hydrogène



Dans le cas d'études effectuées en erlenmeyer, lorsque l'agitation est rapide, l'adsorption est contrôlée par la vitesse de transport de l'adsorbat (métaux) des sites extérieurs vers les sites intérieurs des particules d'adsorbants (Bhargava *et al.*, 1987; Vaishya et Prasad, 1991).

Les sciures de bois contiennent entre autres de la lignine, de la cellulose, des tannins et des protéines. Young *et al.* (1979) ont suggéré que les tannins serviraient de sites d'adsorption primaires des cations divalents sur le bois. Dans le cas de sciures ayant été traitées avec des phosphates (Ajmal *et al.*, 1996), les groupements polaires fonctionnels de la lignine impliqués dans la fixation de groupements phosphates sont des aldéhydes, des cétones, des alcools, des acides et des composés phénoliques (Couillard, 1992).

Tableau 1 Études portant sur l'adsorption des métaux sur des sciures de bois

Références	Types de sciures	Métaux	Paramètres étudiés
Ajmal <i>et al.</i> (1996)	<i>Mangifera indica</i>	Cr(VI)	pH, concentration d'adsorbant, traitement au phosphate, récupération du Cr(VI) des effluents d'électroplacage
Ajmal <i>et al.</i> (1998)	<i>Mangifera indica</i>	Cu(II)	pH, température, temps de contact, concentration d'adsorbant, taille des particules, salinité, enlèvement du cuivre des eaux de rivière, isothermes de Freundlich et Langmuir
Aval (1991)	n.m.	Cu(II), Pb(II)	Essai en colonne, pH
Bhargava <i>et al.</i> (1987)	n.m.	Cd(II), Cr(III), Pb(II)	Temps de contact, concentration d'adsorbant
Bryant <i>et al.</i> (1992)	<i>Abies magnifica</i>	Cu(II), Cr(VI)	pH, température, temps de contact, isothermes de Freundlich et Langmuir
Chan <i>et al.</i> (1992)	n.m.	Cu(II), Cr(III), Pb(II), Ni(II)	Traitement chimique des sciures par formation de cellulose acide iminodiacétique, pH, cinétique et capacité d'adsorption
Chatterjee <i>et al.</i> (1996)	<i>Pinus roxburghii</i> <i>Cedrus deodara</i>	Ni(II)	Isotherme de Freundlich
Holan et Volesky (1995)	<i>Picea engelmannii</i> <i>Tilia americana</i>	Cd(II), Ni(II), Pb(II)	Traitement chimique avec formaldéhyde, carboxylation, sulfoéthylation, carboxyméthylation,

			phosphorylation, isotherme de Langmuir
Morita <i>et al.</i> (1987)	<i>Pinus desiflora</i> <i>Fagas crenata</i>	Cd(II), Cu(II), Hg(II), Mg(II), Ni(II), U(VI), Zn(II)	pH, temps de contact, traitement chimique avec polyéthylènimine et disulfure de carbone, adsorption de l'uranium dans l'eau de mer
Shukla et Sakhardande (1990)	Teck	Cu(II)	Traitement chimique avec des colorants de type monochlorotriazine
Shukla et Sakhardande (1991)	Teck	Cu(II), Pb(II), Hg(II), Fe(III)	Traitement chimique des sciures à partir de plusieurs teintures
Ulmanu <i>et al.</i> (1996)	n.m.	Cu(II)	Effet du temps de contact et du contre-anion
Vaishya et Prasad (1991)	<i>Bassia latifolia</i>	Cu(II)	pH, temps de contact, concentration d'adsorbant, isothermes de Freundlich et Langmuir, étude en mode continu

n.m. : non mentionné

1,2 Écorces de bois

En 1996, la production mondiale de bois a été estimée à 3354 millions de mètres cubes alors que la production annuelle mondiale d'écorce de bois représente 12 % de la production mondiale de bois ce qui constitue environ 413 millions de mètres cubes (FAO, 1998). Relativement peu d'écorces sont valorisées ce qui fait de ce matériau un substrat disponible et peu coûteux. L'utilisation d'écorces de bois telles que les écorces de pin, de chêne ou d'épinette pour enlever des métaux en solution a été rapportée par plusieurs chercheurs (Gaballah et al. 1997 ; Kumar et Dara, 1980a ; Randall et Hautela, 1975 ; Al-Asheh et Duvnjak, 1998 ; Fujii *et al.*, 1988). Les recherches ont porté entre autres sur les espèces suivantes : *Acacia arbica* (Kumar et Dara, 1980a), *Sequoia sempervirens* (Randall *et al.*, 1974b), *Pinus palustris* (Henderson *et al.*, 1977). Les écorces naturelles ou traitées chimiquement de différentes espèces d'arbre ont été étudiées pour l'enlèvement des métaux suivants : Cd, Ni, Cu, Pb, Zn, U, Cr et Hg. Le Tableau 2 présente quelques études répertoriées portant sur l'adsorption des métaux par des écorces de bois de diverses espèces ainsi que les principaux paramètres étudiés lors de ces recherches.

1,2,1 Préparation physique des écorces

De façon générale, les écorces sont lavées pour enlever les matières solubles. Ensuite, l'adsorbant est séché (25-50°C) et tamisé. Des écorces broyées ayant des diamètres compris entre 0,07 et 0,71 mm ont été utilisées par exemple dans l'étude de Al-Asheh et Duvnjak (1998).

1,2,2 Traitement chimique des écorces

L'utilisation d'écorces de bois pour traiter les eaux usées libère des composés phénoliques dans l'eau. Pour remédier à ce problème, les écorces peuvent être utilisées après réaction avec du formaldéhyde sous des conditions acides (Randall *et al.*, 1974a). D'après Randall *et al.* (1976), le rôle principal du formaldéhyde lors de la réaction avec l'écorce serait l'immobilisation des polymères phénoliques dans l'écorce. Vasquez *et al.* (1994) mentionnent dans une étude que l'adsorption augmente lorsque le ratio écorce/formaldéhyde

augmente, alors que Randall *et al.* (1976) affirment que le traitement au formaldéhyde ne diminue pas la capacité des écorces pour enlever les métaux de la solution.

L'application d'un traitement chimique permet d'augmenter considérablement l'adsorption des métaux. Par exemple, un traitement à l'acide nitrique et au formaldéhyde augmente la capacité d'adsorption du Cu(II) jusqu'à quatre fois comparativement aux écorces non traitées (Fujii *et al.*, 1998). Un traitement des écorces par HCl à 70°C pendant 2 h conduit à la dépolymérisation de composants de l'écorce. Suite à ce traitement, l'écorce n'introduit pas de coloration dans la solution et n'augmente pas la DBO. Les travaux de Gaballah *et al.* (1997) ont indiqué que le contenu en polymère extrait de l'écorce diminue de 48 % à 9 %, alors que la quantité de lignine augmente de 21,9 % à 34,1 %.

1,2,3 Comparaison des rendements d'adsorption

Une étude réalisée par Randall (1977) sur différentes espèces d'arbre présentes en Amérique du Nord révèle que les écorces les plus prometteuses pour enlever le cuivre sont *Prunus serotina* var. *serotina*, *Abies grandis*, *Tsuga heterophylla*, *Acer rubrum* var. *rubrum*, *Pinus contorta*, *Sequoia sempervirens* et *Picea sitchensis*. Plus particulièrement, *Sequoia sempervirens*, *Pinus contorta* et *Abies amabilis* enlèvent respectivement 99, 98 et 99 % de plomb à une concentration initiale de 85 mg/L pour des pH variant entre 3,3 et 4,8. De moins bons résultats ont été obtenus pour le nickel; seulement deux écorces (*Acer rubrum* et *Acer saccharum*) ont enlevé un peu plus de 60 % du nickel. Gaballah *et al.* (1994) mentionnent qu'environ 99,9 % 99 % et 96 % du cadmium ont été enlevé de solutions synthétiques de concentrations respectives de 10, 100 et 1 000 mg/L par des écorces à des pH respectifs de 5,0, 5,0 et 7,8. Des essais à l'échelle pilote ont aussi été effectués à partir d'un effluent contenant 5000 µg/L et ont conduit à l'élimination quasi complète du cadmium (< 20 µg/L).

Des essais en colonne sont régulièrement effectués pour enlever les métaux. Un tel procédé en continu est davantage applicable en milieu industriel et est plus économique qu'un procédé en discontinu. L'étude de l'utilisation des écorces de sapin conditionnées comme indiquée précédemment a été menée en remplissant une colonne de verre de 45 cm de long

par 30,5 g de poudre d'écorce. Une solution de 48 mg/L de Cu(II) a été passée dans la colonne avec un débit de 2,5 volume de lit par h. Après passage à travers la colonne, la concentration en Cu est passée à 8,5 mg/L à un pH constant de 3,8. La distribution de la concentration de Cu en fonction de la longueur de la colonne d'adsorbant était décroissante. La régénération de l'adsorbant a été obtenue avec d'excellents résultats par une solution 0,1 N HCl ou HNO₃ (Randall et Hautela, 1975).

1,2,4 Étude des paramètres d'adsorption

1,2,4,1 Effet du temps de contact

Les essais d'adsorption sur les écorces sont effectués en erlenmeyer, mais aussi en colonne. Lors des essais en fioles agitées, 2 g d'adsorbants sont généralement utilisés pour 100 mL d'une solution ayant une concentration en métaux variant de 10 à quelques centaines de mg/L. Le mélange est agité pour une période de 0,5 à 24 h (Al-Asheh et Duvnjak, 1998; Gaballah *et al.*, 1997). Pour assurer l'équilibre, le mélange est généralement agité pendant 24 h, mais parfois l'équilibre peut être atteint en quelques minutes tel que dans les travaux de Randall *et al.* (1974b).

1,2,4,2 Effet du pH

Afin d'éviter la précipitation des métaux en solution, le pH doit être ajusté à une valeur inférieure au seuil de précipitation. Différentes études ont démontré que l'enlèvement du cuivre dépend non seulement du pH, mais aussi des espèces d'écorces puisque le tannin, l'un des constituants de l'écorce, agit comme un acide faible dans le processus d'échange d'ions. Il y a alors deux ions hydrogène échangés dans la solution pour chaque ion métallique divalent lié au solide (Gaballah *et al.*, 1997; Randall *et al.*, 1974a). Dans cette étude, le pH optimum pour réaliser l'adsorption se situe entre 4 et 7. À un pH supérieur à 4, le pin est le plus efficace, suivi du chêne, de l'épinette et du hêtre pour enlever le cuivre. Le rendement d'adsorption est également influencé par le pH. Par exemple, après 1 h à pH=5, davantage de métaux sont enlevés qu'à pH=3 (Gaballah *et al.*, 1997). Un effet inverse a toutefois été démontré pour les métaux présents sous forme anionique (Cr, Se, Pt, Au). Ces métaux sont

souvent adsorbés à des pH très faibles (1 à 2). Par exemple, Singh *et al.* (1994) ont observé que l'adsorption du Cr(VI) diminue en augmentant le pH (9,25 mg/g à pH=2 à 2,5 mg/g à pH=6,8).

1,2,4,3 Effet de la température

Singh *et al.* (1994) ont étudié l'effet de la température sur le rendement d'adsorption à partir de l'équation de Lagergren :

$$\log_{10}(q_c - q) = \log_{10}q_c - kt / 2,303 \quad [6]$$

où « q_c » et « q » sont respectivement la quantité de métal adsorbé (mg/g) à l'équilibre et au temps « t » (min). « k » (min^{-1}) est la constante de vitesse d'adsorption pour le métal étudié. Pour leur étude, ces chercheurs ont mis en contact une solution de 50 mg Cr(VI)/L à pH=2 avec des écorces d'*Acacia arabica*. Leurs résultats démontrent que l'équilibre est atteint plus rapidement à de hautes températures et que la capacité d'adsorption augmente de 9,25 à 12 mg/g en augmentant la température de 20 à 70°C. Khangan *et al.* (1992) ont quant à eux obtenu des résultats différents pour le Zn(II). L'adsorption de Zn par l'écorce *Terminalia bellirica* diminue légèrement en augmentant la température. Le pourcentage d'adsorption à 30°, 50° et 90°C est respectivement de 72 %, 71 % et 69 %. Selon la littérature, il semble que la capacité d'adsorption augmente avec la hausse de température pour un certain intervalle, puis diminue par la suite. Une augmentation de la capacité de sorption avec la température peut être expliquée par une désolvatation des espèces métalliques et par la création de nouveaux sites actifs (Hensley, 1951; Ting et Teo, 1994). Le transport des métaux au travers des membranes cellulaires, processus contrôlé par la diffusion des métaux influence également la capacité d'adsorption. Al-Asheh et Duvnjak (1995) ont rapporté que l'augmentation de la sorption avec la température est principalement due à l'accélération du mouvement des ions métalliques de la solution vers la surface des adsorbants. La diminution de la capacité est quant à elle attribuable à une destruction des sites d'adsorption (Bryant *et al.*, 1992).

1,2,4,4 Effet de la concentration d'adsorbant

La concentration d'adsorbant influence également le rendement d'adsorption. À partir d'une concentration initiale de Cu(II) de 36,5 mg/L et en utilisant 4,5 g/L d'écorces de pin, Al-Asheh et Duvnjak (1999) ont diminué la concentration initiale du cuivre d'un peu plus de 50 %, alors qu'en utilisant 15 g/L d'écorces, la concentration résiduelle de cuivre est passée à 2,5 mg/L.

1,2,4,5 Effet de la taille des particules

Tel que discuté dans le cas des sciures de bois (section 1,1,4,5), il apparaît qu'une diminution de la taille des particules d'écorce augmente la surface spécifique et permet une meilleure capacité d'adsorption.

1,2,4,6 Effet du type d'ions et de contre ions

Dans une solution contenant un seul métal, les isothermes d'adsorption (concentration 9,2 mg/mL et pH initial de 4) nous indiquent que la sélectivité de l'écorce de pin va dans l'ordre suivant : Cu(II) > Cd(II) > Ni(II). Dans le cas d'un mélange de métaux, la préférence d'un métal influence, compétitionne ou exclut la récupération d'un autre métal dans la solution (Al-Asheh et Duvnjak, 1998). Différentes écorces se sont avérées plus efficaces pour différents métaux dans un milieu anionique particulier. Par exemple, selon qu'on utilise les sels de nitrate ou d'acétate de zinc, le pourcentage de zinc enlevé dans la solution par les écorces (*Sequoia sempervirens*) est respectivement de 73 et 94 % (Randall, 1977).

1,2,5 Mécanismes d'adsorption

Al-Asheh *et al.* (1998) ont étudié la participation des constituants majeurs (lignine, carbohydrates et protéines) dans les processus d'adsorption, ainsi que l'implication des groupements fonctionnels amines et carboxyles. Le processus d'adsorption proposé est celui de l'échange d'ions. Par exemple, avec des écorces de sapin, l'adsorption de Cu(II) est

accompagnée du relargage dans la solution de cations Ca(II) , Mg(II) , K(I) et H^+ . Les métaux lourds s'adsorbent en formant des liaisons ioniques dans le cas d'échange avec les cations alcalins et alcalino-terreux. Lorsque la liaison impliquée entre le substrat et l'adsorbat est covalente, un proton est généralement libéré en solution. Il a été démontré que l'enlèvement du cation Cu(II) libère environ $2\text{H}_3\text{O}^+$ dans la solution (Gaballah *et al.*, 1997). Ce phénomène suggère que l'échange cationique est le processus prévalent, ce qui est en accord avec les travaux précédents (Gaballah *et al.*, 1994; Henderson *et al.*, 1977; Randall *et al.*, 1974a).

La microscopie électronique (*Scanning electron microscopy* : SEM) a été appliquée pour l'analyse des écorces avant et après adsorption pour localiser les sites actifs d'adsorption de l'absorbant, et l'énergie dispersive des rayons-X (EDX) a été employée pour confirmer l'identité du métal dans différentes parties des cellules. Les micrographies ont montré que les cellules des écorces après adsorption étaient plus denses que les cellules avant adsorption, et l'EDX a montré que les membranes étaient plus riches que le cytoplasme en Cu(II) , et que le pic correspondant au Ca(II) diminue dans la membrane après adsorption. Cela indique clairement que l'adsorption a lieu sur la membrane par l'échange de Ca par Cu. La résonance de spin électronique a été utilisée pour l'examen de la participation des radicaux libres dans l'adsorption des cations Cu(II) par les écorces. Une relation entre le pourcentage des radicaux libres et le taux de cuivre adsorbé par les écorces a montré que la quantité de radicaux libres décroît de 100 à 30 % au fur et à mesure que le taux de cuivre adsorbé augmente de 0 à 0,13 mmol/g. Ceci témoigne que les radicaux libres des écorces du départ participent à la coordination des cations (Al-Asheh et Duvnjak, 1998).

Tableau 2 Études portant sur l'adsorption des métaux sur des écorces de bois

Références	Types d'écorces	Métaux	Paramètres étudiés
Al-Asheh <i>et al.</i> (1998)	Pin	Cu(II)	Rôle des groupements fonctionnels et des radicaux libres, mécanismes, composition de l'écorce
Al-Asheh et Duvnjak (1998)	Pin	Cu(II), Cd(II), Ni(II)	Équilibre binaire, modèles de Langmuir et Freundlich, mécanismes
Al-Asheh et Duvnjak (1999)	Pin	Cd(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II)	pH, combinaison d'écorce et de charbon activé, système simple, binaire, tertiaire et quaternaire, mécanisme
Fujii <i>et al.</i> (1988)	Cèdre japonais Pin rouge japonais Mélèze japonais Mélèze sibérien	Cu(II), U(VI)	Traitement à l'acide nitrique et au formaldéhyde, taux d'adsorption, effet de la température et taille de l'adsorption, élution
Gaballah <i>et al.</i> (1997)	<i>Quercus pedunculata</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Picea abies</i>	Cu(II)	pH, effet du traitement, cinétique, concentration initiale, effet de la présence des anions et cations, élution, incinération des écorces
Gaballah et Kilbertus (1995)	<i>Pinus sylvestris</i>	As(V), Hg(II), Zn(II)	Traitement des écorces, concentration initiale, compétition par les cations, mécanisme, essai à l'échelle pilote
Khanghan <i>et al.</i> (1992)	<i>Terminalia bellirica</i>	Zn(II)	pH, temps de contact, température, anions, quantité de substrat, concentration
Kumar et Dara (1980a)	<i>Acacia arbica</i> <i>Pterocarpus marsupium</i> <i>Terminalia tomentosa</i> <i>Tectona grandis</i>	Cu(II), Pb(II), Zn(II), Cd(II)	Traitement au formaldéhyde, essai en colonne, pH, effet du contre-anion
Kumar et Dara (1982)	<i>Acacia</i> Laurier Teck	Cu(II), Pb(II), Cd(II), Hg(II), Ni(II), Zn(II), Cr(VI)	Essai en colonne, compétition entre cations
Randall (1977)	<i>Alnus rubra</i> <i>Fraxinus americana</i>	Cd(II), Cu(II), Pb(II), Ni(II),	Étude de plusieurs écorces de différentes origines

	<i>Tilia americana</i> <i>Prunus serotina</i> <i>Ulmus americana</i> <i>Abies grandis</i> <i>Abies procera</i> <i>Abies amabilis</i> <i>Tsuga canadensis</i> <i>Tsuga heterophylla</i> <i>Acer rubrum</i> <i>Quercus falcata</i> <i>Pinus contorta</i> <i>Thuja plicata</i> <i>Sequoi sempervirens</i> <i>Picea sitchensis</i> <i>Liquidambar styraciflua</i>	Zn(II), Ca(II), Mg(II)	
Randall <i>et al.</i> (1974a)	Chêne rouge Sapin	Cu(II), Pb(II), Cd(II), Zn(II), Cr(III), Ag(I)	Mécanisme, régénération, traitement d'effluent
Randall <i>et al.</i> (1974b)	Sapin-ciguë Chêne rouge Séquoia	Cd(II), Cu(II), Hg(II), Ni(II), Pb(II), Zn(II)	Essai en colonne, compétition des cations, essai sur un effluent minier
Randall <i>et al.</i> (1976)	Chêne rouge Sapin	Cu(II), Pb(II), Cd(II)	Traitement au formaldéhyde
Randall et Hautala (1975)	Séquoia	Cu(II), Pb(II), Cd(II)	Expérience en colonne, échange d'ions, essai à l'échelle industrielle
Shukla N. et Pandey (1990)	<i>Terminalia tomentosa</i>	Pb(II), Hg(II), Cr(VI)	Traitement à l'acide sulfurique
Singh <i>et al.</i> (1994)	<i>Acacia arabica</i>	Cr(VI)	Traitement au formaldéhyde, isotherme de Langmuir, pH, temps d'équilibre, effet de la température, études en colonnes
Vasquez <i>et al.</i> (1994)	<i>Pinus pinaster</i>	Zn(II), Cu(II), Pb(II)	Pré-traitement au formaldéhyde, pH, temps de contact, concentration initiale

n.m. : non mentionné

1,3 Mousse de tourbe

La tourbe a été largement utilisée dans le traitement des eaux usées. La mousse de tourbe joue un rôle important dans le traitement d'effluent industriel puisqu'elle absorbe, complexe ou échange des cations métalliques. La mousse de tourbe a fait l'objet de nombreuses études pour vérifier la capacité d'adsorption de différents cations (Cr(III), Na(I), Ba(II), Cu(II), Pb(II), Cd(II), Ni(II), Zn(II), Li(I), K(I), Mg(II), Ca(II), Sr(II)).

Cette matière est abondante, largement disponible et relativement facile à obtenir. Environ 1,5 % de la surface de la terre est recouverte de tourbe (Smith *et al.*, 1978) et les plus gros dépôts se retrouvent dans la partie nord des hémisphères (Moore et Bellamy, 1974). À titre d'exemple, l'ancienne Union Soviétique constituait 62 % des réserves mondiales de tourbe (Bel'kevich *et al.*, 1972). La décomposition partielle de la végétation morte accumulée dans des conditions d'excès d'humidité est à l'origine de la formation géologique de la mousse de tourbe.

1,3,1 Préparation et traitement

En général, la mousse est d'abord lavée et séchée à environ 100°C pendant 24 h. Ensuite, pour homogénéiser le substrat, l'échantillon est tamisé à une taille allant entre 0,991 mm et 0,351 mm (Bloom et McBride, 1979; Smith *et al.*, 1977). La concentration de sorbant utilisée varie beaucoup d'un chercheur à l'autre. Par exemple, Sharma et Forster (1993) ont utilisé un équivalent de 4 g/L d'adsorbant alors que Bloom et McBride (1979) ont utilisé 100 g/L. La mousse de tourbe et la solution contenant les métaux sont habituellement agitées à la température de la pièce pendant quelques heures.

La capacité d'adsorption peut être améliorée en effectuant un traitement à l'acide, particulièrement à l'acide sulfurique. Smith *et al.* (1978) ont utilisé 4 mL de H₂SO₄ concentré /1,2 g de tourbe (poids sec) pendant une période de 2 h. Ces conditions sont privilégiées puisque de plus grandes quantités d'acides et des temps de réaction plus long ne produisent qu'une faible augmentation de la capacité d'adsorption, alors que la tourbe a tendance à se décomposer davantage.

1,3,2 Études des paramètres d'adsorption

1,3,2,1 Effet du pH

Plusieurs chercheurs ont démontré que la capacité de la tourbe à retenir les cations est dépendante du pH de la solution. Coupal et Lalancette (1976) ont rapporté qu'en milieu basique ($\text{pH} > 8,5$) la mousse n'est pas très stable alors qu'en milieu acide ($\text{pH} < 3$), les métaux sont libérés de la tourbe. Bel'Kevich *et al.* (1972) ont obtenu des résultats en accord avec ces observations. La relation entre la capacité d'échange de la tourbe et le pH est linéaire sur un intervalle de pH 3 à 8 et dévie grandement de la linéarité dans la région alcaline.

1,3,2,2 Effet de la température

Une série d'expériences ont été entreprises par Ho et McKay (1999) pour vérifier les performances d'adsorption de la tourbe à différentes températures (6, 15, 25, 35 et 45°C). Pour cette étude, la taille des particules était de 500 à 700 μm , la concentration initiale de Pb(II) était de 300 mg/L et la vitesse d'agitation était de 400 rpm. La capacité d'adsorption à l'équilibre augmentait lorsque la température s'élevait.

1,3,2,3 Effet de la taille des particules

L'influence de la taille des particules de la tourbe sur le rendement de sorption a aussi été étudiée par Ho et McKay (1999) (500-710 μm , 355-500 μm , 250-355 μm et 150-400 μm). L'étude a été réalisée en utilisant une concentration initiale de Pb(II) de 300 mg/L, une vitesse d'agitation de 400 rpm, 1,7 L de solution à la température de la pièce ($24 \pm 2^\circ\text{C}$) et 6,8 g de tourbe. Plus la taille des particules est petite, davantage il y a d'adsorption des métaux. Par exemple, pour un intervalle de 150 à 240 μm , 76,8 mg Pb(II) /g a été obtenue, alors qu'un rendement de 57,6 mg Pb(II)/g a été mesurée pour un intervalle de 500 à 710 μm .

1,3,2,4 Effet du traitement chimique

Pour caractériser les changements se produisant avec le traitement à l'acide sulfurique, des spectres infrarouges ont été obtenus (Smith *et al.* 1978). Les bandes carbonyles à 1730 cm^{-1} et 1620 cm^{-1} augmentent significativement. Les spectres suggèrent qu'il se produit une oxydation et une sulfonation des sites. Cette conclusion est supportée par des analyses élémentaires des échantillons.

D'autres acides ont été essayés pour activer la tourbe; l'acide phosphorique, l'acide formique et l'acide nitrique par Smith *et al.* (1978). Le traitement à l'acide phosphorique augmente seulement la capacité effective de rétention du sodium de 50 %. Les auteurs déterminent la capacité effective des métaux en passant une solution de chlorure de sodium au travers des colonnes étudiées. Après avoir rincé la colonne avec de l'eau distillée, l'effluent total de la colonne est titré. Les capacités sont déterminées en titrant les protons libérés. Alternativement, les ions retenus sur la colonne sont enlevés et quantifiés par polarographie. Les capacités effectives ne sont pas affectées par un traitement à l'acide formique. Les propriétés oxydantes de l'acide nitrique semblent trop fortes pour la matrice de la tourbe puisque cet acide peut décomposer la tourbe.

1,3,3 Mécanismes d'adsorption

La tourbe a une grande superficie spécifique ($> 200\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$) et est très poreuse (95 %) (Sharma et Forster, 1993). La tourbe est un matériel complexe contenant de la lignine et de la cellulose comme constituants majeurs. Al-Asheh *et al.* (1998) ont rapporté que la mousse contenait approximativement 42,2 % de lignine et 24,7 % de cellulose. La lignine, dont la structure est présentée à la figure 1, possède des groupements fonctionnels polaires tels que des alcools, aldéhydes, cétones, acides qui peuvent être impliqués dans les liaisons chimiques et jouer un rôle dans la complexation des métaux (Couillard, 1994; Coupal et Lalancette, 1976).

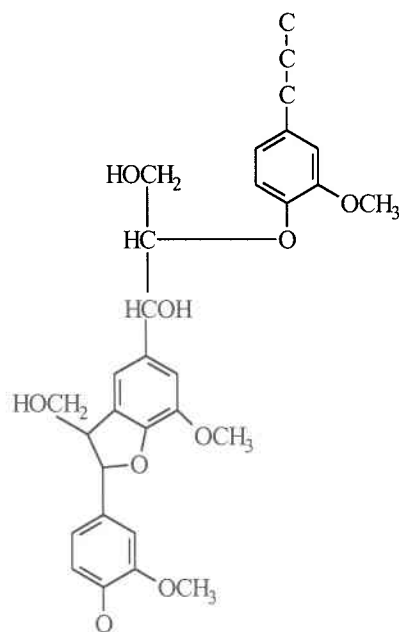


Figure 1 Structure chimique générale de la lignine (Couillard, 1994)

Les groupements fonctionnels de la lignine sont notamment impliqués dans le mécanisme d'adsorption, mais égalent d'autres constituants tel que les carbohydrates. Pour expliquer le mécanisme, l'étude de la diffusion de l'ion du milieu aqueux vers les particules de la tourbe doit être considérée. Dans la littérature, les auteurs ne sont pas unanimes au sujet du mécanisme. Couillard (1994) et D'Avila *et al.* (1992) mentionnent que tout le processus de sorption est gouverné par la diffusion car les réactions sont considérées instantanées, alors que Ho et McKay (1999) mentionnent plutôt que le processus s'effectue en deux étapes. La première étape serait contrôlée par la diffusion et la deuxième serait contrôlée par la chemisorption. Bloom et McBride (1979) suggèrent que les ions semblent se situer près des sites carboxylates, mais le mécanisme de chelation ou encore les groupements fonctionnels de différentes acidités ne sont pas nécessairement impliqués. Couillard (1994) mentionne plutôt que les métaux sont principalement attirés par la présence de charges négatives associées aux acides humiques et fulviques et ce, à l'aide des liaisons hydrogènes ou les liaisons anions-cations.

Les acides humiques de la tourbe ont un rôle important dans l'enlèvement des métaux.

Dissanayake et Weerasoariya (1981) ont observé une diminution de la capacité d'adsorption après avoir enlevé les acides humiques. Les ions di- et tri-valents forment des complexes avec les groupements aromatiques carboxylates et hydroxyles présents dans les acides humiques. Ces groupements acides sont capables de retenir de grandes quantités de métaux par échange de cations et adsorption de surface.

1,3,4 Capacité d'adsorption

Malgré la confusion dans l'explication du mécanisme d'adsorption, il est évident que l'adsorption chimique est possible grâce aux groupements fonctionnels constituant la lignine. Al-Asheh *et al.* (1998) ont étudié la capacité d'adsorption de la tourbe. La capacité à adsorber le cuivre a été déterminée à 9,5 mg/g en utilisant une suspension de 100 mg/L, 4,6 mg/mL de sorbant et à un pH initial de 4,5.

1,4 Autres adsorbants naturels

Cette section présente de façon succincte d'autres matériaux naturels un peu moins conventionnels mais originaux qui ont été étudiés pour adsorber les métaux. Le Tableau 3 présente d'ailleurs quelques études d'adsorption avec des matériaux naturels répertoriés dans la littérature.

1,4,1 Noix de coco

La noix de coco, très abondante sur la côte brésilienne, a été utilisée pour l'enlèvement du cadmium par Espinola *et al.* (1998), ainsi que par Bhattarchaya et Venkobachar (1984). La surface de la fibre de noix de coco est chimiquement riche en composés actifs pour adsorber le cadmium. Des fibres de noix de coco ont aussi été étudiées par Quek *et al.* (1998) pour adsorber le cuivre et le plomb. Les fibres de noix de coco sont efficaces pour enlever le cadmium; dans les travaux d'Espinola *et al.* (1998), la capacité de rétention atteint plus de 99 % pour une solution initiale contenant 10 mg/L de cadmium.

1,4,2 Pulpe de betterave à sucre

L'adsorption des métaux divalents (Ca(II), Cd(II), Cu(II), Ni(II) et Zn(II)) par la pulpe de betterave à sucre a été étudiée par Dronnet *et al.* (1997). La pulpe de betterave à sucre, un produit dérivé de l'industrie sucrière, est riche en peptides et en cellulose (respectivement > 40 % et 20 % de matière sèche). La pulpe de betterave n'est pas dispendieuse et sa production atteint 14 millions de tonnes de matières sèches chaque année dans la communauté européenne. Jusqu'à maintenant, sa principale utilisation est l'incorporation de la pulpe dans la nourriture pour les animaux. La pulpe de betterave à sucre possède une grande capacité d'échange des cations due à la présence de fonctions carboxyles et des acides galacturoniques. Les isothermes d'adsorption révèlent des capacités maximales pour ce substrat de 0,62, 0,46 et 0,47 mequiv/g pour le cuivre, le plomb et le cadmium à un pH de 7,2.

1,4,3 Farine de canola

La farine de canola est un sous produit de la fabrication de l'huile de canola à partir des graines de canola. Le Canada a produit plus de 4,3 millions de tonnes de graines de canola en 1991-92. (Statistiques Canada, 1993). Les graines sont riches en huile (40 à 45 %) et en protéines. La production de farine de canola dans la même année se situait à 1,1 millions de tonnes. La farine de canola contient environ 37 % de protéines. En tenant compte de la composition en acides aminés, sa composition est considérée de bonne qualité selon Al-Asheh et Duvnjak (1996). Elle contient aussi des vitamines, des minéraux, des composés phénoliques et des acides phytiques. Il est aussi connu que les acides phytiques ont de grandes habiletés pour lier les métaux (Clandinin, 1986). En considérant que la farine de canola est riche en protéine et en acide phytiques, la farine de canola devient un substrat intéressant pour adsorber les métaux. Les travaux de Al-Asheh et Duvnjak (1996) montrent une capacité d'adsorption de 37,82 ug/mg pour le chrome (III) à un pH de 6,0 pour une concentration initiale en métaux de 100 mg/L.

1,4,4 Pulpe d'olive

L'aire de plantation d'oliviers dans la région méditerranéenne augmente due à la demande continue pour les olives. Par exemple, l'aire de plantation d'oliviers en Jordanie a augmenté de 40,6 milliers d'hectares en 1988 à 72,8 milliers d'hectares en 1992. La majorité des olives produites sont utilisées pour la production d'huile et une grande quantité de résidus est ainsi produite, quantité estimée à plus de 50 millions de tonnes en 1992. De petites quantités de ces résidus sont utilisées comme fertilisant et dans la fabrication de nourriture pour animaux. Gharaibeh *et al.* (1998) ont utilisé la pulpe d'olive comme adsorbant. La pulpe d'olive a une grande surface spécifique et un grand potentiel pour adsorber les contaminants métalliques. Des capacités de 5,40 et de 21,56 mg/g ont été obtenues respectivement pour le zinc et le plomb.

1,4,5 Pelures d'oignons

Plusieurs études ont été conduites en utilisant des pelures d'oignon traitées à l'acide sulfurique et au formaldéhyde. Selon Kumar et Dara (1980b), les pelures d'oignon modifiées se sont avérées un substrat adéquat pour adsorber les métaux toxiques tels que le cuivre, le plomb, le zinc et le cadmium. L'effet du temps de contact, de la température, du pH et des anions sur la récupération a été étudié avec des pelures d'oignon modifiées. Les capacités d'adsorption sont de 1,6 meq/g pour le cuivre, 1,55 meq/g pour le cadmium, 1,35 meq/g pour le plomb et de 1,33 meq/g pour le zinc.

1,4,6 Déchets de thé

Les déchets solides provenant de l'industrie du thé s'avèrent de bons adsorbants pour les métaux, spécialement pour le plomb, le cadmium et le zinc (Tee et Khan, 1988). L'adsorption dépend du pH, de la force ionique de la concentration en métaux et en substrats, de la présence d'ions et de surfactants. Les capacités d'adsorption des feuilles de thé sont respectivement de 0,38, 0,28 et 0,18 mmol/g pour le plomb, le cadmium et le zinc.

1,4,7 Cheveux humains

Les matériaux fibreux kératineux tel que la laine et les cheveux sont connus pour adsorber les métaux. Tan et Teo (1985) ont étudié particulièrement la capacité d'adsorption des cheveux humains traités chimiquement. Des résultats intéressants ont été obtenus en effectuant un pré-traitement au NaOH/Na₂S. Des capacités d'adsorption de 94,0, 667 et de 141 mg/g ont respectivement été obtenus pour le mercure, l'argent et le plomb.

Tableau 3 Études portant sur l'adsorption des métaux par divers matériaux naturels

Références	Adsorbants	Métaux	Paramètres étudiés
Arulananthan <i>et al.</i> (1989)	Coquilles de noix de coco	Cd(II), Pb(II)	Traitement chimique, isotherme de Freundlich, études de la diffusion particulière
Orhan et Büyükgüngör (1993)	Feuilles de thé, café, écaïlles de noix	Cr(VI), Cd(II), Al(III)	Isotherme de Freundlich
Tee et Khan (1988)	Feuilles de thé	Pb(II), Cd(II), Zn(II)	Effet de surfactants, capacité d'adsorption
Tan <i>et al.</i> (1985)	Cheveux humains	Hg(II), Ag(I), Pb(II), Cd(II), Cu(II), Cr(VI), Ni(II), Cr(III)	Effet des anions, capacité d'adsorption
Tiwari <i>et al.</i> (1985)	Déchets de riz	Hg(II)	Temps de contact, isotherme de Langmuir
Roberts et Rowland (1973)	Coton	Hg(II)	Traitement chimique
Wing <i>et al.</i> (1974)	Xanthate (amidon)	Cd(II), Cr(III), Cu(II), Fe(II), Fe(III), Pb(II), Mn(II), Hg(II), Ni(II), Ag(I), Zn(II)	Capacité d'adsorption, polymères cationiques
Macchi <i>et al.</i> (1986)	Café	Hg(II)	Essais en colonne, essais en présence de chlorures
Dronnet <i>et al.</i> (1997)	Pulpe de sucre de betterave	Ca(II), Cd(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II), Zn(II)	Sélectivité des métaux, Isotherme de Langmuir, cinétique
Al-Asheh et Duvnjak (1996)	Farine de canola	Cr(III)	Effet de la concentration en chrome, effet du pH, isotherme de Langmuir et de Freundlich
Gharaibeh <i>et al.</i> (1998)	Pulpe d'olives	Cr(III), Ni(II), Pb(II), Cd(II), Zn(II)	SEM, XRF
Ho et McKay (1999)	Tourbe	Pb(II)	Étude cinétique, de la température, et de la vitesse d'agitation,

			mécanisme
D'avila <i>et al.</i> (1992)	Tourbe	Pb(II)	Modèle mathématique du processus de diffusion
Smith <i>et al.</i> (1977)	Tourbe	Cu(II)	Traitement à l'acide sulfurique, caractérisation des modifications chimiques
Gosset <i>et al.</i> (1986)	Tourbe	Cu(II), Cd(II), Zn(II), Ni(II)	Cinétique et thermodynamique
Randall <i>et al.</i> (1975)	Écailles d'arachides	Cu(II)	Essais en colonne, mécanisme
Masri et Friedman (1974)	Laine	Hg(II), Hg(I), Ag(I), Au(III), Cu(I), Cu(II), U(VI), Sb(III), Sn(II), Pb(II), Pt(IV), Zn(II), Bi(III), Cd(II), Pd(II), Fe(III), Cr(III), Ni(II), Co(II), Ce(II), Th(IV), As(II), Zr(IV), Tl(I)	Groupe fonctionnel spécifique, traitement chimique, effet des anions
Okieimen <i>et al.</i> (1990)	Noix	Cd(II), Pb(II)	Traitement chimique avec EDTA

2 ISOTHERMES D'ADSORPTION

Ce chapitre traite de l'adsorption chimique et physique. Il explique de façon générale le processus d'adsorption. Les isothermes de Langmuir et de Freundlich y sont présentés plus spécifiquement.

2,1 Adsorption physique et chimique

L'adsorption est définie comme l'augmentation de la concentration d'un composé à la surface ou l'interface entre deux phases. Dans tous les solides ou liquides, les atomes à la surface sont sujets à des forces d'attractions normales au plan de la surface. Ces forces sont simplement des extensions des forces agissant dans le corps d'une substance (Faust et Aly, 1999). Le processus d'adsorption permet de rétablir la balance de force et est accompagné par une diminution de l'énergie libre du système. Les processus d'adsorption peuvent être classés en deux catégories, physique ou chimique, dépendant de la nature des forces impliquées.

L'adsorption physique sur un solide est attribuée aux forces d'interaction entre la surface solide et la molécule adsorbée qui sont similaire aux forces de van der Waals entre les molécules. Le second type d'interaction est l'adsorption chimique (chimisorption). Celle-ci est caractérisée principalement par des énergies d'adsorption approchant celle de la liaison chimique. La chimisorption implique le transfert d'électrons et la formation d'une liaison chimique entre l'adsorbat et la surface du solide. Étant donné que ce type d'adsorption implique une liaison chimique, les molécules adsorbées sont localisées sur des sites spécifiques et ne sont pas libres de migrer à la surface. Selon Faust et Aly (1999), l'adsorption physique peut se distinguer de l'adsorption chimique par un ou plusieurs des critères suivants :

1. L'adsorption physique n'implique pas le partage ou le transfert d'électrons et maintient toujours l'individualité des espèces qui interagissent. Les interactions sont complètement réversibles, rendant possible la désorption à la même température. La chimisorption

implique une liaison chimique et est irréversible selon Faust et Aly (1999).

2. L'adsorption physique n'est pas spécifique à des sites donnés : les molécules sont libres de s'adsorber sur la surface entière. Elle permet de mesurer l'aire de la surface d'un adsorbant. La chimisorption se produit à quant à elle à des sites spécifiques.
3. L'enthalpie d'adsorption physique est généralement faible comparée à celle de l'adsorption chimique. Néanmoins, la chaleur d'adsorption n'est pas un critère précis.

L'accumulation de la matière à l'interface solide-liquide est à la base de la plupart des réactions en surface. L'adsorption est souvent un processus décrit en terme d'isothermes. Ces derniers représentent la relation entre la concentration d'une substance en solution et la quantité adsorbée à une température constante. Les isothermes sont souvent employés pour établir la capacité d'adsorption d'un adsorbant.

Malheureusement, la détermination de la capacité de fixation des métaux se fait dans des conditions expérimentales différentes d'un chercheur à l'autre. La capacité de fixation s'exprime en terme de quantité de métal adsorbé par unité de masse d'adsorbant utilisé (ex. mg métal/g adsorbant ou mmole métal/g adsorbant).

2,2 Isotherme de Langmuir

D'après Stumm et Morgan (1996), la plus simple hypothèse en matière d'adsorption est que les sites d'adsorption « S », à la surface d'un solide deviennent occupés par l'adsorbat de la solution « M ». En supposant une stoechiométrie 1 :1, on peut obtenir l'équation de Langmuir à partir de l'équilibre suivant :



où « SM » représente l'adsorbat sur un site d'absorption. La constante d'équilibre pour la

réaction [7] peut être représentée par la relation suivante :

$$[SM] / [S] [M] = b = \exp (-\Delta G^\circ / RT) \quad [8]$$

où « b » est la constante d'équilibre apparente de la réaction, « ΔG° » est la variation d'énergie libre standard pour la réaction, « R » est la constante des gaz parfaits et « T » est la température (°K). En faisant l'hypothèse qu'il y a un nombre fini de sites d'absorption « S_T », l'expression ci-dessous peut alors être employée :

$$[S_T] = [S] + [SM] \quad [9]$$

où

[SM] est la concentration d'adsorbat associée aux sites d'adsorption

[S] est la concentration de sites d'adsorption libre d'adsorbat

[S_T] est le concentration finie de sites d'adsorptions

En combinant les équations [8] et [9], on obtient alors la relation mathématique suivante :

$$[SM] = b S_T [M] / (1 + b [M]) \quad [10]$$

En définissant la concentration de surface « q » par l'expression ci-dessous :

$$q = [S] / \text{masse d'adsorbant} \quad [11]$$

$$q_{\max} = [S_T] / \text{masse d'adsorbant} \quad [12]$$

où $q_{\max}$ est la quantité maximale théorique d'un adsorbat associé à l'adsorbant exprimée en terme de métal adsorbé par unité de masse d'adsorbant.

On obtient l'expression générale de l'équation de Langmuir :

$$q = q_{\max} b [M] / (1 + b [M]) \quad [13]$$

où [M] est la concentration en métal dissous à l'équilibre

Les conditions pour la validité de cet isotherme d'adsorption sont les suivantes :

- 1) L'équilibre s'établit jusqu'à la formation d'une monocouche ;
- 2) Tous les sites d'adsorption sont équivalents et la surface est uniforme ;
- 3) L'adsorption d'une molécule à un site donné est indépendante de l'occupation des sites voisins.

Le principal inconvénient associé à ce modèle est qu'il ne s'applique qu'à des milieux de même force ionique, pH et concentrations des ligands. Il fait l'hypothèse qu'il y a un seul type de sites d'adsorption, ce qui n'est toujours pas le cas. L'équation [13] indique que « q » approche « $q_{\max}$ » asymptotiquement lorsque la concentration à l'équilibre du métal dissous tend vers l'infini. L'équation [13] peut également s'écrire sous forme linéaire :

$$1/q = 1 / q_{\max} + 1 / (b q_{\max} [M]) \quad [14]$$

En portant en graphique l'inverse de la quantité d'adsorbat associé à l'adsorbant ($1/q$) en fonction de la concentration du métal donné à l'équilibre $[M]$, l'ordonnée à l'origine permet de calculer « $q_{\max}$ » et la pente permet de déterminer la constante d'équilibre « b » (Équation [14]).

2,3 Isotherme de Freundlich

L'isotherme de Freundlich, également largement utilisé pour décrire l'adsorption des métaux sur des matières végétales, est un modèle empirique dont la représentation mathématique est la suivante :

$$q = m [M]^n \quad [15]$$

Où « q » est la quantité d'adsorbat associé à l'adsorbant, « m » réfère à la constante de Freundlich qui est liée à la force de liaison, « M » est la concentration totale de l'adsorbat en solution, « n » est la mesure de la non linéarité impliquée due à la distribution des forces de liaisons. L'équation est applicable pour des solides présentant plusieurs types de sites d'adsorption et est également généralement utilisable pour des solides ayant une surface

hétérogène. Lorsque $n=1$, tous les sites sont semblables et l'isotherme de Freundlich se ramène à un isotherme de Langmuir pour lequel $q_{\max} \rightarrow \infty$. De plus, ce modèle possède tous les inconvénients de l'isotherme de Langmuir et il ne suppose pas un nombre fini de sites.

3 OBJECTIFS DE RECHERCHE

La présence de métaux lourds dans l'environnement peut être dommageable pour plusieurs espèces vivantes. Les métaux lourds sont pour la plupart des polluants toxiques et non-biodégradables. Par le fait même, ils ont également tendance à s'accumuler dans la chaîne trophique. L'élimination des métaux lourds des eaux usées est un sujet important pour la santé publique. Plusieurs méthodes ont été proposées pour enlever les métaux lourds des effluents industriels. La précipitation chimique, filtration sur membrane, échange d'ions, coagulation et l'adsorption sont les procédés les plus fréquemment utilisés. Chacune des méthodes a des avantages mais aussi des limites au niveau de l'application à l'échelle industrielle. L'adsorption par le charbon actif apparaît comme l'une des méthodes efficaces pour enlever des métaux à l'état de traces (Huang et Blankenship, 1984). Toutefois, le charbon actif est dispendieux et n'est pas facilement accessible dans tous les pays. Pour cette raison, l'utilisation d'un adsorbant disponible à faible coût est une avenue intéressante pour enlever les métaux.

Ce projet de recherche a donc pour principal objectif de développer des procédés d'adsorption ne nécessitant pas au préalable un ajustement du pH des effluents industriels sous le seuil de précipitation des divers métaux. Ce procédé permet ainsi de réduire les coûts en produits chimiques associés à l'ajustement du pH des effluents industriels favorisant ainsi leur application à l'échelle industrielle.

3,1 Objectifs spécifiques de recherche

Le présent projet de recherche a pour objet principal de tester et d'évaluer le potentiel de différentes biomasses végétales pour adsorber les métaux en milieu fortement acide. De fait, les objectifs spécifiques de ce projet peuvent être exprimés de la manière suivante :

- Identifier les meilleurs substrats et pré-traitements chimiques pour adsorber les métaux à pH 2,0;

- Déterminer les isothermes d'adsorption des métaux ayant des rendements d'enlèvement supérieurs à 90%. Étudier l'effet de la présence de plusieurs métaux sur le modèle de Langmuir;
- Évaluer l'efficacité des adsorbants sur des lixiviats provenant de technologies de décontamination;
- Effectuer des études de désorption sur le meilleur substrat ainsi que le nombre de cycles de sorption/désorption possibles avec la même biomasse.

4 MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre du présent mémoire regroupe l'ensemble des informations relatives aux protocoles expérimentaux et aux matériels et méthodes employés lors des travaux au laboratoire.

4,1 Méthodologie générale

Afin d'évaluer la performance de divers adsorbants, une solution synthétique contenant douze métaux en concentration équimolaire a été tout d'abord utilisée. Des essais d'adsorption en erlenmeyer ont été effectués sur des adsorbants sans traitement chimique et avec traitement chimique (phosphatation, phosphorylation, traitements acides et basiques). Les isothermes d'adsorption ainsi que le nombre de cycles possibles de sorption/désorption ont été étudiés sur les meilleurs substrats. Ensuite, des tests d'adsorption des métaux ont été effectués sur des lixiviats d'origine industrielle. Les lixiviats ont été produits lors de l'opération de technologies de décontamination des boues d'épuration et de sols contaminés.

4,2 Lixiviat synthétique

Le Tableau 4 présente la composition du lixiviat synthétique. La solution synthétique a été préparée à partir de douze sels de métaux, dans une matrice d'acide nitrique 2 %. Les sels choisis sont tous des nitrates afin de faciliter la solubilisation des métaux et d'éliminer des problèmes de précipitation reliés aux anions. Un volume de 6 L de lixiviat a été préparé et l'analyse des métaux a été effectuée par spectrophotométrie de plasma inductif (ICP).

Tableau 4 Composition du lixiviat synthétique

Sels	Métaux	Concentration de l'élément (mg/L)	Concentration (mM)
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Al	6,75	0,250
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Ca	10,02	0,250
$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Cd	28,10	0,250
$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Cr	13,00	0,250
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Cu	15,89	0,250
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Fe	13,96	0,250
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Mg	6,08	0,250
$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mn	13,74	0,250
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Ni	14,67	0,250
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Pb	51,80	0,250
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Zn	16,35	0,250
NaNO_3	Na	5,75	0,250

4,3 Adsorbants

Le Tableau 5 décrit les adsorbants naturels utilisés pour les tests d'adsorption des métaux. Les adsorbants ont été préalablement lavés à l'eau déminéralisée et séchés à l'étuve à 50°C pendant 24 h. Par la suite, les adsorbants ont été broyés à l'aide d'un moulin à café et ensuite tamisés. La fraction inférieure à 2 mm a été conservée pour les travaux.

Tableau 5 Différents adsorbants naturels employés lors des essais

Description	Marque de commerce	Lieu d'acquisition
Copeaux de pins	Living World/Hagen	Faune domestique
Écailles d'arachides	Krispy Kernels	Krispy Kernels
Écailles de cacao	CAO Décor/Propep	Centre Jardin Hamel
Copeaux de cèdres	EarthGro	Centre Jardin Hamel
Tourbe de sphaigne	Fafard et Frères Ltée	Centre Jardin Hamel
Litière pour chats	Yesterday's News	Vétérinaire Lachapelle
Écorces de pin gris et d'épinette	Amexfor	Jacques Boutin

Le mélange de pin gris et épinette est en fait un mélange d'écorces de bois provenant d'une scierie. Le mélange est constitué d'environ 60 % d'épinette noire (*Picea mariana*), 35 % de pin gris (*Pinus banksiana*) ainsi que 5 % de sapin, mélèze (*Larix laricina*), pin rouge (*Pinus resinosa*) et blanc (*Pinus strobus*). Ce mélange de plusieurs essences d'arbre constitue un déchet pour la scierie. La litière pour chats est une litière composée principalement de papiers journaux recyclés. Ce substrat est donc essentiellement composé de cellulose.

4,3,1 Traitement chimique des adsorbants

4,3,1,1 Traitement acide

Il a été démontré que le traitement de la mousse de tourbe à l'acide sulfurique augmente les capacités d'adsorption pour le Cu(II) (Smith *et al.*, 1977). Dans le même sens, Shukla et Pandey (1990) ont quant à eux utilisé des écorces d'arbres provenant d'une manufacture d'acide oxalique. L'acide oxalique est fabriqué en traitant des écorces (*Terminalia tomentosa*) avec de l'acide sulfurique. Il s'est avéré que le traitement de ces écorces à l'acide sulfurique augmentait les capacités d'adsorption pour le plomb, le mercure et le chrome. Dans la littérature, peu de recherches ont été effectuées lors d'un traitement

chimique utilisant uniquement l'acide sulfurique. Il peut être parfois difficile de prédire les modifications des groupements fonctionnels impliqués dans l'adsorption des métaux. En effet, les sciures et les écorces de bois sont composés de protéines, de carbohydrates (cellulose, xylose, arabinose), de lipides, de lignine et de sucres solubles (Al-Asheh *et al.*, 1998). Devant la diversité des groupements fonctionnels présents, il est complexe de prédire quels sont les groupes fonctionnels impliqués sans étude approfondie. Toutefois, il est reconnu qu'un traitement à l'acide sulfurique et au formaldéhyde rend insoluble des polymères contenus dans le bois.

Des quantités de 10 g d'adsorbant ont été chauffés à 100°C pendant 15 min dans une solution de H_2SO_4 0,75 M. Les adsorbants ont été par la suite filtrés, lavés et séchés à 50°C pendant 24 h.

4,3,1,2 Phosphorylation

Holan et Volesky (1995) ont rapporté d'excellents résultats pour la sorption du Pb(II), Cd(II) et du Ni(II) à l'aide de sciures ayant subi une phosphorylation. Ce traitement chimique appliqué sur divers substrats devrait donc augmenter le rendement d'adsorption pour ces derniers métaux. Ce traitement chimique implique l'addition d'un groupement phosphate à la cellulose.

Tout d'abord, l'adsorbant a été chauffé à 100°C pendant 10 min dans une solution d'hydroxyde de sodium à 2 %. Après avoir été filtré, l'échantillon a été mélangé à une solution contenant 49,6 % d'urée, 18,4 % d'acide phosphorique concentré et 32 % d'eau, (320 mL d'eau, 100 mL H_3PO_4 et 496 g d'urée) pendant 1 h à la température de la pièce. L'excédant du liquide a été enlevé par filtration (20-25 μm) et le matériel a été chauffé pendant 30 min à 150°C. Ensuite, l'échantillon a été lavé et séché à 50°C pendant 24 h (Guthrie, 1952).

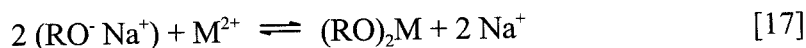
4,3,1,3 Phosphatation

Ajmal et ses collaborateurs (1996) ont démontré que des sciures traitées à l'hydrogénophosphate de sodium augmentent les rendements d'adsorption du Cr(VI). L'adsorption du chrome est maximale à un pH < 2,0. Cette réaction implique probablement l'échange des ions PO_4^{3-} par des ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

Une quantité de 10 g de sciures a été traitée avec 500 mL Na_2HPO_4 0,1 M à la température de la pièce. Après 24 h, le mélange est filtré (20-25 μm) et lavé plusieurs fois avec de l'eau distillée.

4,3,1,4 Traitement basique

À priori, il n'y a pas de traitement à l'hydroxyde de sodium de rapporté dans la littérature. Ce traitement constitue une nouveauté qui pourrait favoriser les échanges ioniques impliquant les alcalino-terreux tel que mentionné dans les travaux de Ajmal *et al.* (1998).



Une quantité de 10 g d'adsorbant a été chauffée à 100°C pendant 15 min dans une solution de NaOH 0,75 M. Les adsorbants ont été filtrés (20-25 μm), lavés et séchés à 50°C pendant 24 h.

4,3,2 Morphologie des écailles de cacao

Des images des écailles de cacao ont été obtenues à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) afin de le caractériser puisque ce substrat n'a pour le moment jamais été étudié comme adsorbant. Les images ont été obtenues à l'aide d'un appareil de marque Hitachi S-3500 N environnemental à pression variable. Une tension de 20 kV, un courant de 150 μA , une distance de travail de 15 mm et une pression de 25 Pa ont été les paramètres

employés pour prendre les micrographies. Les échantillons ont été montés sur un support autocollant en carbone. Le MEB permet également la microanalyse EDS (spectroscopie en dispersion d'énergie) à l'aide d'un détecteur de rayons-X de marque Link de Oxford-SIS.

4,3,3 Digestion totale

La méthode de digestion totale employée nécessite de l'acide perchlorique, de l'acide nitrique, de l'acide chlorhydrique et de l'acide fluorhydrique. Environ 0,5 g de chacun des échantillons sont placés dans un bécher en téflon. Un volume de 20 mL d'acide nitrique y est ajouté et les béchers sont placés sur une plaque à 200°C pendant 30 minutes sous reflux. Ensuite, le contenu des béchers est évaporé à sec. Un volume de 10 mL d'acide perchlorique est ajouté et les béchers sont chauffés pendant 30 minutes sous reflux. Après avoir laissé refroidir les béchers, 10 mL d'acide fluorhydrique sont ajoutés et ensuite les béchers sont amenés à sec à une température de plaque de 200°C pendant 12 à 19 heures. Après avoir refroidi les béchers et y avoir ajouté de l'eau déminéralisée acidifiée, le digestat est transféré dans une fiole jaugée de 50 mL avec une matrice d'acide chlorhydrique 5 %. Des digestions d'échantillons certifiés (Mess-2) ont été effectuées afin de s'assurer de la qualité de la procédure. De plus, toutes les digestions ont été effectuées en duplicata.

4,4 Étude cinétique

Afin de vérifier le comportement des adsorbants en fonction du temps, l'adsorption des métaux a été évaluée dans le temps. Pour ce faire, 200 mL du lixiviat a été placée dans un erlenmeyer de 500 mL, puis 4 g d'adsorbant a été ajouté (20 g/L). Le mélange a été agité (150 rpm) à une température de 25°C pendant 24 h. Le pH initial a été ajusté à 2,0 avec de l'hydroxyde de sodium et des volumes de 15 mL ont été prélevés aux temps 0, 0,5, 1, 2, 4, 6 et 24 h. Ensuite, le solide a été séparé de la fraction liquide par filtration (20-25 µm) afin de déterminer la concentration en métaux dissous dans le filtrat. Des mesures de pH ont également été prises aux temps préalablement mentionnés. Les mesures du pH ont été effectuées à l'aide d'un pH mètre (Orion 420A) préalablement calibré à l'aide de deux solutions tampons.

4,5 Isotherme d'adsorption

Pour réaliser les isothermes d'adsorption, la solution synthétique contenant les métaux mentionnés au Tableau 4, ainsi qu'une solution de plomb 0,25 mM ont été utilisées. En utilisant une solution contenant plusieurs métaux et l'une ne contenant que le plomb, une comparaison de l'effet de la présence de plusieurs métaux sur la capacité d'adsorption du plomb a pu être effectuée. Pour réaliser les isothermes d'adsorption, des concentrations d'adsorbant de 2, 5, 10, 15, 20 et 30 g/L ont été utilisées. Plusieurs aliquotes de 100 mL de la solution synthétique ont été placées dans des erlenmeyers de 500 mL, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,0 et 3,0 g d'adsorbant y ont été ajoutés afin de varier la concentration en adsorbant. Le mélange a été agité (150 rpm) à une température de 25°C pendant 24 h. Le pH de départ a été ajusté à 2,0 avec de l'hydroxyde de sodium et un volume de 15 mL a été filtré (1.5 µm) après 24 h pour l'analyse des métaux. Une mesure du pH a également été prise après 24 h. L'analyse des métaux en solution a été effectuée. Toutefois, l'analyse des métaux a également été effectuée sur le solide après digestion et ce, afin d'établir un bilan en ce qui concerne les écailles de cacao (voir section 5,5).

4,6 Étude de désorption

La désorption constitue une étape importante dans l'étude de l'adsorption. Après avoir été en contact avec la solution métallique, l'adsorbant a été lavé avec de l'eau déminéralisée, puis séché dans une étuve à 50°C pendant 24 h. Ensuite, une masse de 4 g de l'adsorbant-adsorbat a été éluée avec 50 mL d'acide chlorhydrique 0,5 N dans un erlenmeyer et ce, pendant 3 h. Le mélange a ensuite été filtré (20-25 µm) et lavé avec de l'eau, puis l'adsorbant a été séché à 50°C pendant 24 h. Une portion du filtrat a aussi été recueillie. Des digestions sur l'adsorbant et sur le couple adsorbant-adsorbat ont aussi été effectuées pour établir un bilan.

4,7 Lixiviats de procédés de décontamination

4,7,1 Lixiviat de boues d'épuration

Le lixiviat de boues d'épuration provient de la décontamination chimique de boues de la station d'épuration de la Communauté Urbaine de Montréal (CUM). Le lixiviat a tout d'abord été centrifugé pendant 21 minutes à 18 000 x g afin d'enlever les matières solides présentes. Ensuite, le protocole de l'étude cinétique a été utilisé mais en remplaçant la solution synthétique de métaux par le lixiviat de la CUM.

4,7,2 Lixiviat de sol contaminé

Le sol contaminé en métaux a été fourni par le Centre de Recherche Minérale (CRM). Le sol provient d'un site contaminé de la ville de Montréal. Le lixiviat a été préparé en réalisant une étape de lixiviation acide des sols. Pour ce faire, 100 g de sol ont été placés dans 2 L d'eau déminéralisée (5 % p/p). Une quantité d'acide chlorhydrique concentrée a été ajoutée pour atteindre un pH de 2,0, lequel a été maintenu pendant 3 h avec une agitation rigoureuse de la pulpe. Ensuite, le solide a été séparé de la fraction liquide par filtration (20-25 µm) et le filtrat a été utilisé comme solution métallique en utilisant le protocole de l'étude cinétique.

4,8 Mesures analytiques

Les analyses ont été effectuées par spectrophotométrie de plasma à couplage inductif à l'aide d'un appareil de marque Thermo Jarrel Ash, Atom Scan 25. Les résultats présentés dans le mémoire correspondent à la moyenne des résultats (triplicata). Les écarts types sur les rendements d'adsorption ont été ajoutés aux figures 21 à 23, 28 à 30 et 31 à 33 à l'aide de barres d'erreurs. La spectrométrie d'absorption atomique a aussi été utilisée pour les faibles concentrations en plomb et en cadmium (appareil Varian, modèle Spectra AA 20).

4,8,1 Contrôle de qualité

Chacune des étapes du cheminement d'un échantillon au laboratoire est importante pour assurer un résultat fiable et toutes les étapes doivent être contrôlées pour éviter les erreurs. Le contrôle de qualité a été effectué sur les résultats présentés dans le mémoire. Lorsque le résultat était en dehors de la valeur cible ($\pm 5\%$), une reprise du contrôle a été effectuée. Lorsque le résultat de la reprise était encore inférieur à l'écart attendu, les analyses des échantillons à partir du dernier contrôle ont été reprises. L'incertitude acceptée et reliée aux ajouts fortifiés et au duplicata était de $\pm 10\%$. Lorsque les résultats étaient hors de la valeur cible, les procédures étaient alors révisées (calibration, échantillons contrôles, ajouts dosés).

4,8,1,1 Échantillon de contrôle

Un échantillon contrôle certifié (EU-H-1) a été utilisé afin de vérifier la méthode développée à l'ICP et à l'absorption atomique. Ensuite, des échantillons de contrôle de source interne ont été utilisés. Les échantillons de contrôle ont été préparés à partir d'étalons de lots différents de ceux employés pour la calibration. Ces échantillons ont été préparés dans la même matrice que les échantillons à analyser. Ce type d'échantillon permet de s'assurer sur une base régulière (à tous les 10 échantillons) que la procédure analytique utilisée est adéquate.

4,8,1,2 Échantillon fortifié

Une quantité connue d'un ou de plusieurs métaux a été ajoutée dans certains échantillons. La quantité ajoutée correspond à 50 % de la quantité réelle trouvée. Ce contrôle a été effectué sur chacun des filtrats ayant été en contact avec les divers adsorbants. De plus, ce contrôle a été effectué à chaque série de 25 analyses.

4,8,1,3 Réplicata

Les essais d'adsorption en erlenmeyer ont été réalisés en triplicata sur les expériences de cinétique et sur les mesures d'isothermes (sections 4,4 et 4,5) afin de s'assurer de la reproductibilité des résultats. Les rendements d'adsorption pour chacun des adsorbants lors

des essais (triplicata) ainsi que la moyenne et l'écart type sont présentés aux appendices A, B, et C respectivement pour le lixiviat synthétique, le lixiviat de boues d'épuration et le lixiviat d'un sol contaminé selon le protocole de la section 4,4. L'analyse d'échantillon en triplicata permet d'assurer la validité de la méthode analytique et de mettre en évidence la non-homogénéité d'un échantillon. Durant cette procédure, les trois échantillons ont suivi le même processus analytique, du pré-traitement au dosage. Également, l'analyse a été répétée sur le même échantillon (duplicata) à toutes les 15 déterminations.

4,8,1,4 Blanc de méthode

Afin d'évaluer les contaminations potentielles inhérentes à la méthode analytique, un blanc de méthode a été analysé sur une base quotidienne. Le blanc de méthode a suivi toutes les étapes de la méthode analytique.

4,8,2 Test statistique

À partir des résultats obtenus en triplicata (section 4,8,1,3), un test statistique a été appliqué à la moyenne des rendements d'adsorption pour chacun des métaux et chacun des lixiviats. Cette démarche permet de vérifier si l'application d'un traitement chimique augmente de façon significative le rendement d'adsorption pour un niveau de confiance de 95 %.

Un test statistique de Student a été privilégié afin de comparer les moyennes de populations des échantillons pairés de faible taille. Le test statistique fait l'hypothèse que la variable $\bar{d} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$ est aléatoire et suit une distribution de Student à N-1 degrés de liberté avec comme moyenne $\mu_1 - \mu_2$ et comme écart type $s_d / \sqrt{N}$. La variable centrée réduite est

$$t = \frac{\bar{d} - (\mu_1 - \mu_2)}{s_d / \sqrt{N}} \quad [18]$$

Si l'hypothèse $H_0 (\mu_1 - \mu_2)$ est vraie, la variable centrée réduite devient

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{N}} \quad [19]$$

Cette dernière variable (équation [19]) peut servir de statistique du test et être comparée à des valeurs tirées des tables de la loi de Student (t, α).

où

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - N \bar{d}^2}{N - 1}} \quad [20]$$

$$d_i = x_1 - x_2 \quad [21]$$

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad [22]$$

x_1 est le rendement d'adsorption pour un métal donné pour un adsorbant sans traitement

x_2 est le rendement d'adsorption pour un métal donné pour un adsorbant ayant subi un traitement

N est le nombre d'essais d'adsorption

Les différentes étapes du test statistique qui ont été appliquées sont les suivantes :

Étape 1 : Formulation des hypothèses

- $H_0 : \mu_1 = \mu_2$
- $H_1 : \mu_1 < \mu_2$

Étape 2 : Niveau de signification de 95 % à N-1 degrés de liberté

$(t, \alpha) = (2.92, 5 \%)$ tiré d'une table de Student (Amiot, 1990)

Étape 3 : Règle de décision

- la statistique du test est calculée
- Rejet de H_0 si $t < -t, \alpha$
- Rejet de H_0 si $t < -2,92$

Étape 4 : On applique la règle de décision

Si la valeur calculée de « t » tombe dans la zone de rejet de H_0 (si $t < -2,92$), l'application de ce traitement chimique augmente significativement le rendement d'adsorption pour ce métal à un niveau de signification de 95 %. Les résultats des variables de l'équation [19] sont présentés aux appendices D,E et F pour chacun des adsorbants et des métaux respectivement pour le lixiviat synthétique, le lixiviat de boues d'épurations et le lixiviat provenant d'un sol contaminé.

5 RÉSULTATS ET DISCUSSION CONCERNANT LE LIXIVIAT SYNTHÉTIQUE

Le présent chapitre regroupe les principaux résultats obtenus à partir du lixiviat synthétique. Tout d'abord, sept adsorbants mentionnés au Tableau 5 ont été étudiés en leur appliquant préalablement un pré-traitement chimique. Un traitement acide, un basique, une phosphatation, une sulfonation ainsi qu'une phosphorylation étaient les traitements envisagés. Néanmoins, le traitement concernant la sulfonation des sites a été abandonné puisque le coût des réactifs pour réaliser ce pré-traitement est prohibitif et devient inapplicable à l'échelle pilote ou à l'échelle industrielle. Les autres pré-traitements ont été appliqués à chacun des substrats.

5,1 Digestion des adsorbants

Une digestion totale des adsorbants a été effectuée afin de connaître le contenu en métaux des adsorbants (Tableau 6). Ainsi, il a été possible à partir de ces résultats d'évaluer le relargage potentiel des métaux pour chacun des adsorbants. Il y a peu de métaux lourds dans chacun des adsorbants étudiés. Par contre, on retrouve des quantités appréciables de sodium, de magnésium, de fer et de calcium dans chacun des adsorbants.

Tableau 6 Contenu ($\mu\text{g/g}$) en métaux des divers adsorbants

Métaux	Écorces de pin gris et d'épinette	Copeaux de cèdre	Écailles d'arachides	Mousse de tourbe	Litière	Écailles de cacao	Copeaux de pin
Al	160	1900	700	2500	13200	1200	< 100
Ca	4100	10600	3400	1100	5600	3600	960
Cd	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Cr	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Cu	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Fe	110	1100	370	1200	1100	760	< 100
Mg	290	440	2100	1600	980	3700	130
Mn	120	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	110
Na	< 100	290	660	520	1000	210	< 100
Ni	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Pb	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Zn	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

5,2 Essais préliminaires

Des essais préliminaires ont été effectués pour déterminer lesquels des adsorbants et des pré-traitements présentent le plus de potentiel. Les différents substrats ont été en contact avec la solution synthétique selon le protocole analytique mentionné à la section 4,4 à l'exception que l'échantillonnage n'a été effectué qu'après 24 h. Il s'est avéré que les substrats démontrant les meilleurs rendements d'adsorption sont les écorces de *pin gris et épinette*, les *copeaux de cèdre*, les *écailles d'arachides*, la *mousse de tourbe* et les *écailles de cacao*. La *litière en papier recyclé* et les *copeaux de pin* ont été éliminés pour les travaux

subséquents. En effet, ces deux substrats n'ont adsorbé aucun des métaux étudiés. En ce qui concerne les traitements chimiques, le traitement de phosphatation et le traitement acide ont produit les meilleurs résultats. La phosphorylation des adsorbants ou encore le traitement à l'hydroxyde de sodium n'ont pas permis d'augmenter les capacités d'adsorption de façon considérable comparativement à lorsqu'aucun traitement n'est appliqué. Les essais se sont donc poursuivis avec les cinq adsorbants sans traitement chimique et avec deux pré-traitements chimiques.

5,3 Études cinétiques

L'évaluation de la performance des adsorbants lors des processus d'adsorption requiert la compréhension de la dépendance entre la concentration en métaux et le comportement des adsorbants en fonction du temps. Tel que mentionné précédemment dans le protocole analytique à la section 4,4, l'adsorption dans le temps a été étudiée. Les figures 2 à 16 présentent la variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les divers substrats pour le cuivre, le fer, le nickel et le plomb. Les Appendices A, B et C présentent également les résultats concernant les autres métaux mentionnés à la section 4,4 respectivement pour le lixiviat synthétique, le lixiviat de boues d'épuration et du lixiviat provenant du sol contaminé. Les Appendices A, B et C regroupent tout d'abord, la concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption pour chacun des traitements chimiques et des adsorbants, puis les résultats détaillés pour chacun des essais en triplicata. Ces graphiques permettent entre autres d'évaluer le temps d'équilibre, le processus d'adsorption dans le temps et le phénomène de relargage des métaux.

Le temps d'équilibre est sensiblement le même pour le Cu(II), Fe(III), Ni(II), Pb(II) et ce, pour chacun des substrats. Après environ une demi-heure, la concentration en plomb diminue de plus de 80 % et continue de diminuer faiblement par la suite. De façon générale, le fer ferrique s'adsorbe en un premier temps puis il est relargué dans la solution. Le rendement maximal d'adsorption s'établit souvent après 6 h de réaction.

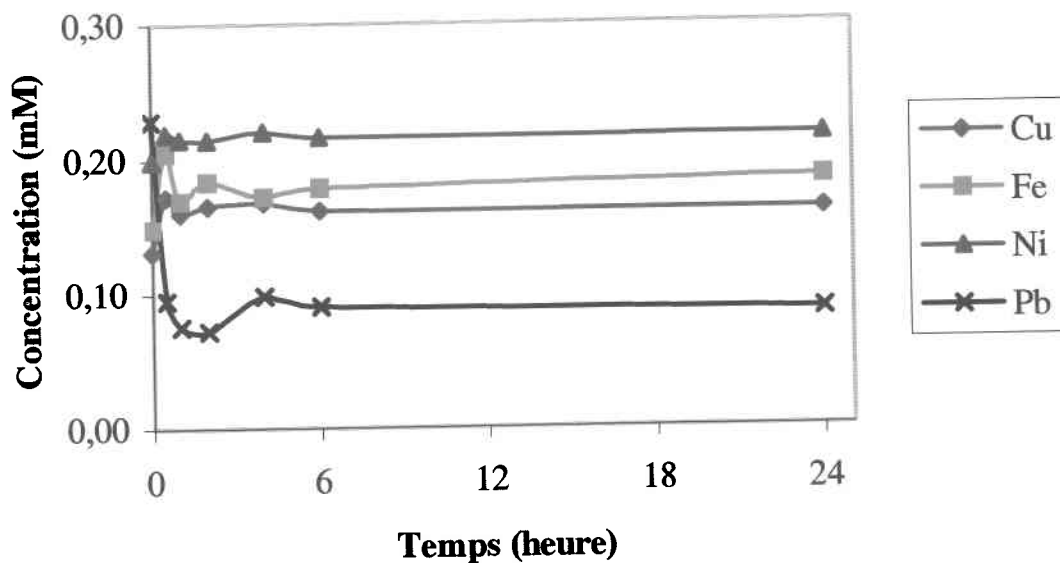


Figure 2 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles de cacao sans traitement

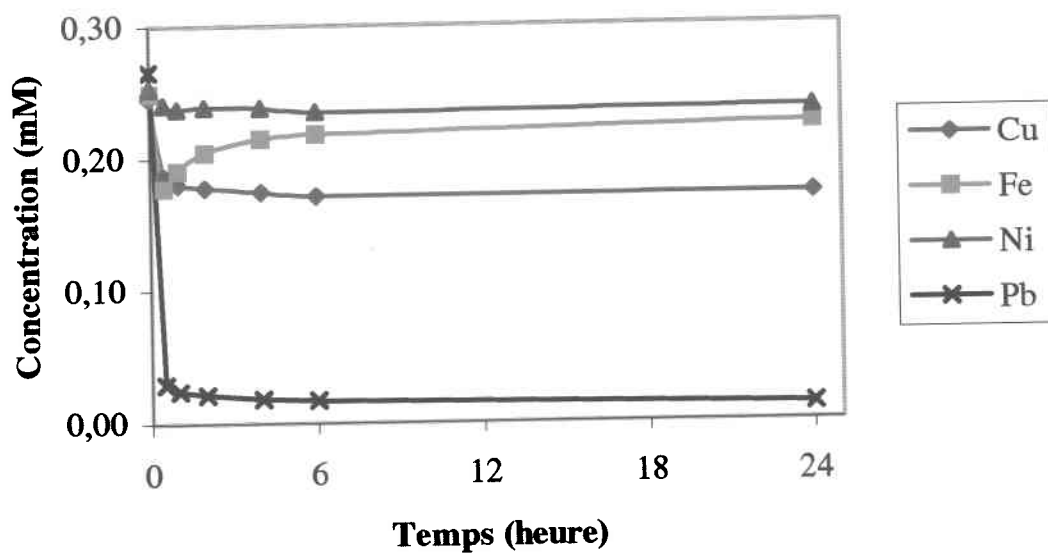


Figure 3 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles de cacao ayant subi un traitement acide

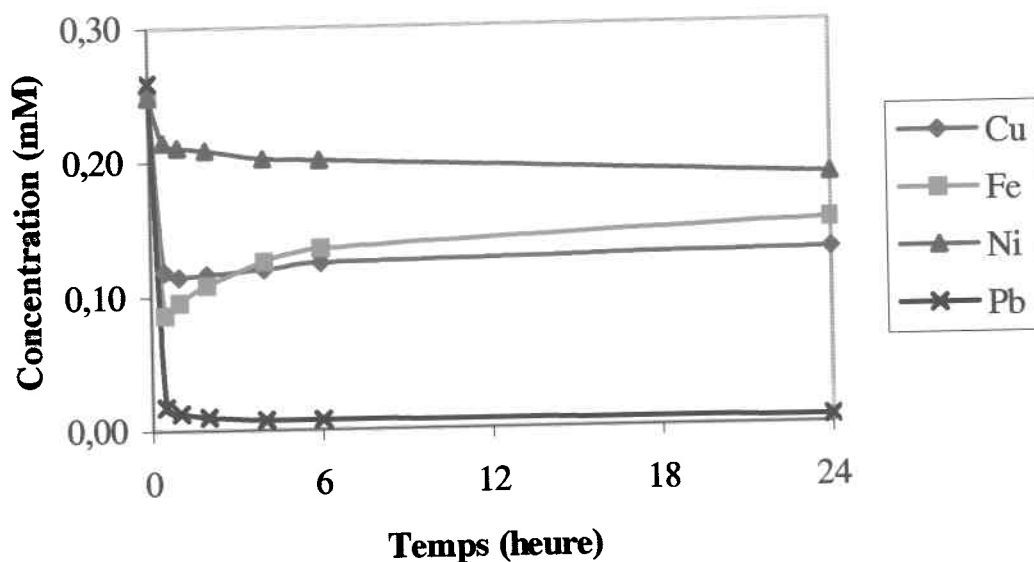


Figure 4 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles de cacao ayant subi un traitement phosphate

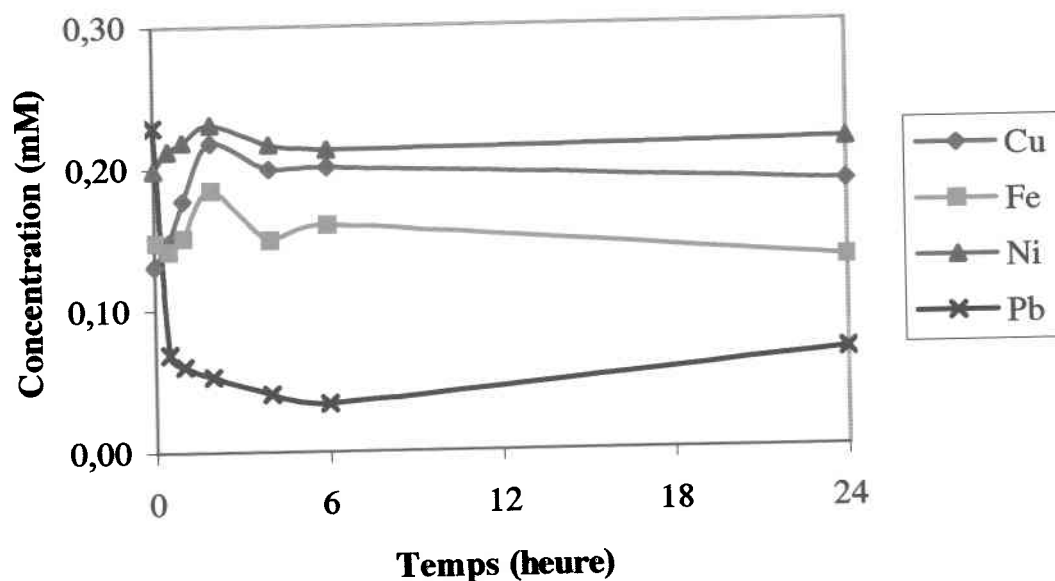


Figure 5 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur la mousse de tourbe sans traitement

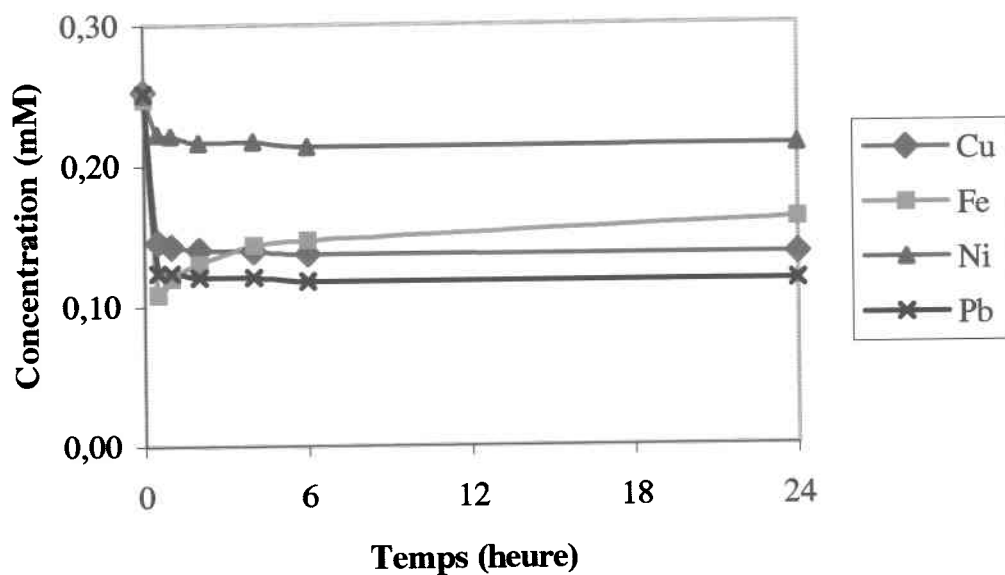


Figure 6 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur la mousse de tourbe ayant subi un traitement acide

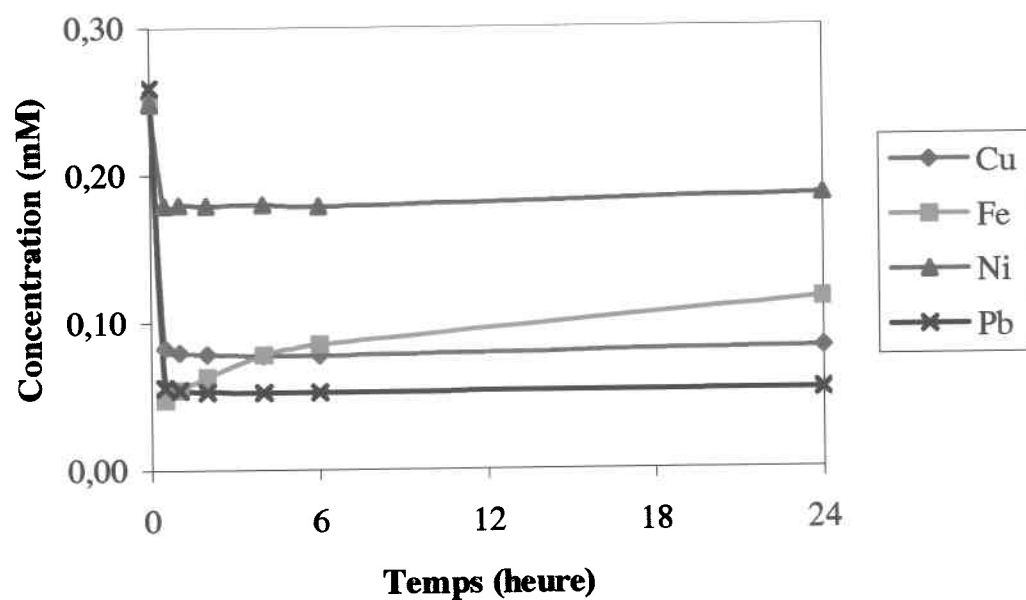


Figure 7 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur la mousse de tourbe ayant subi un traitement phosphate

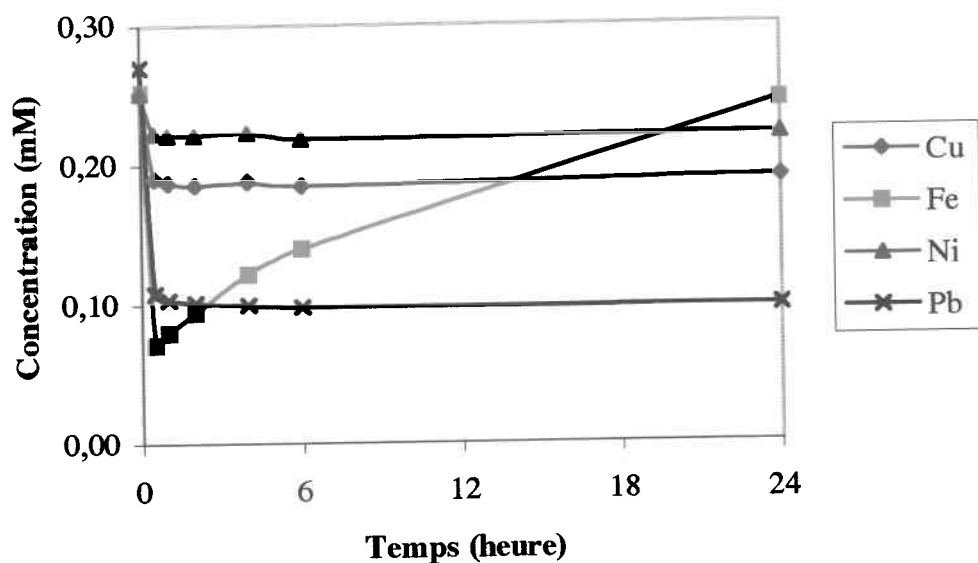


Figure 8 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les copeaux de cèdre sans traitement

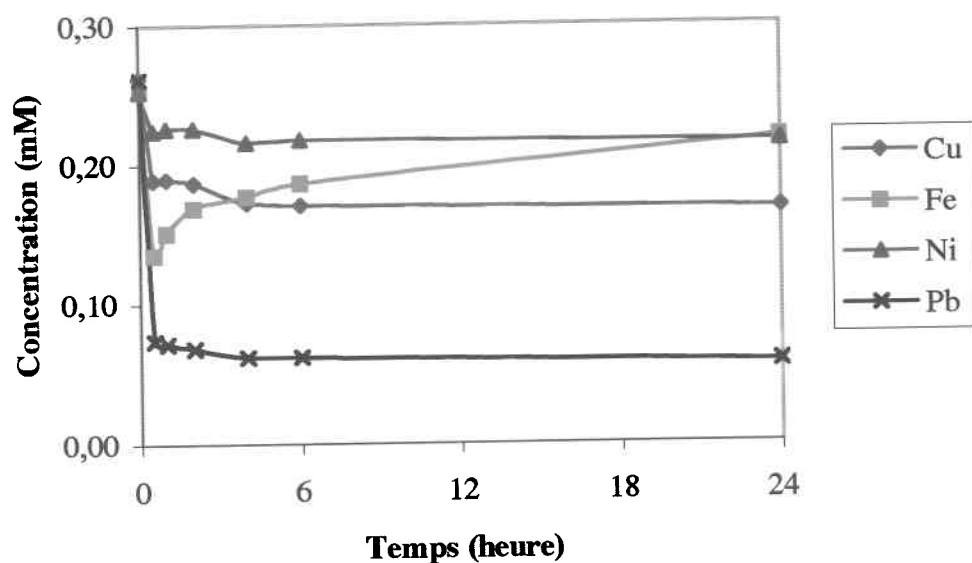


Figure 9 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les copeaux de cèdre ayant subi un traitement acide

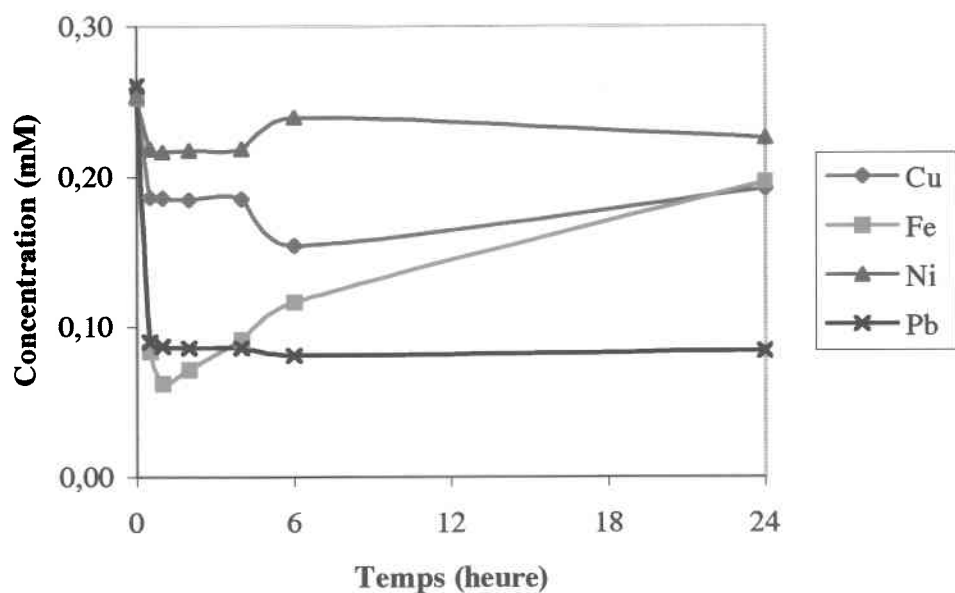


Figure 10 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les copeaux de cèdre ayant subi un traitement phosphate

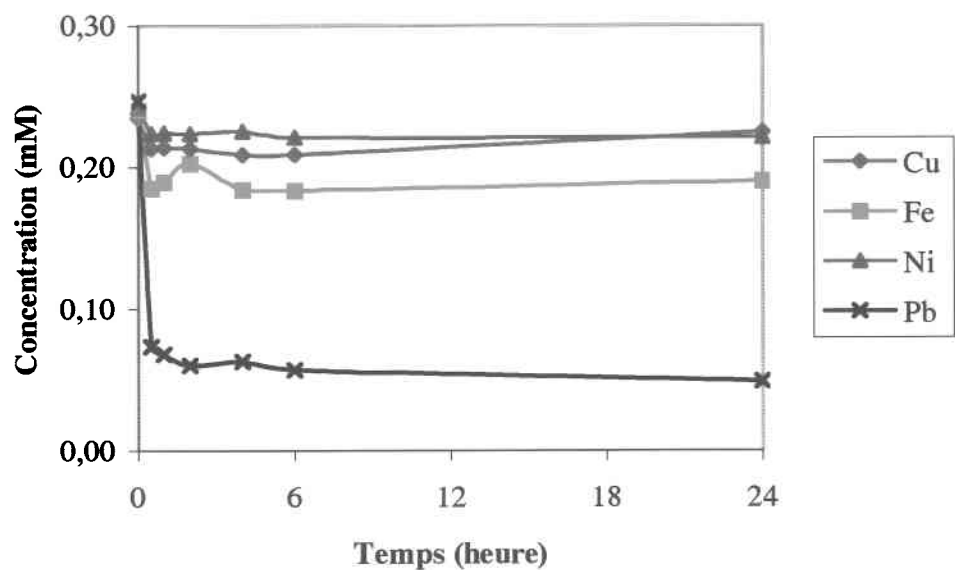


Figure 11 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écorces de pin gris et d'épinette sans traitement

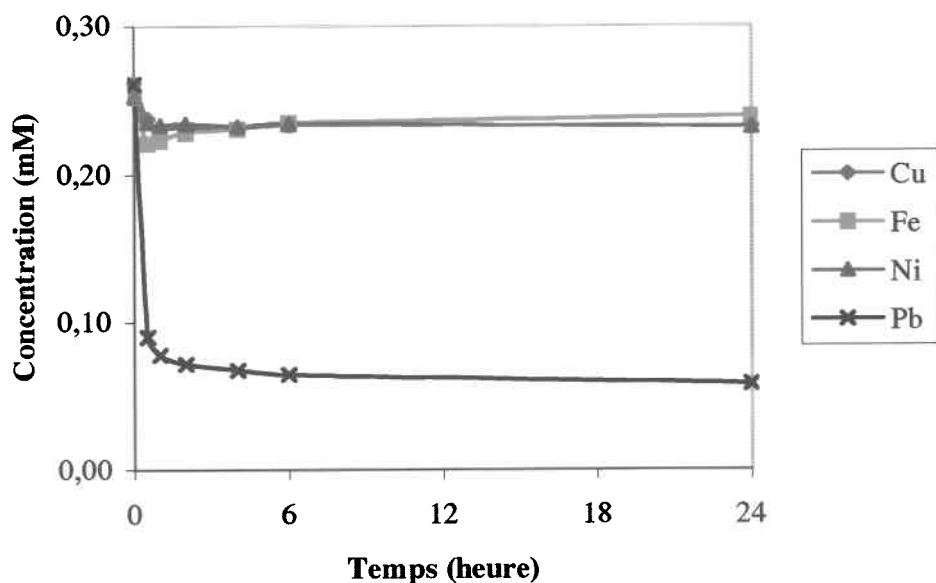


Figure 12 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écorces de pin gris et d'épinette ayant subi un traitement acide

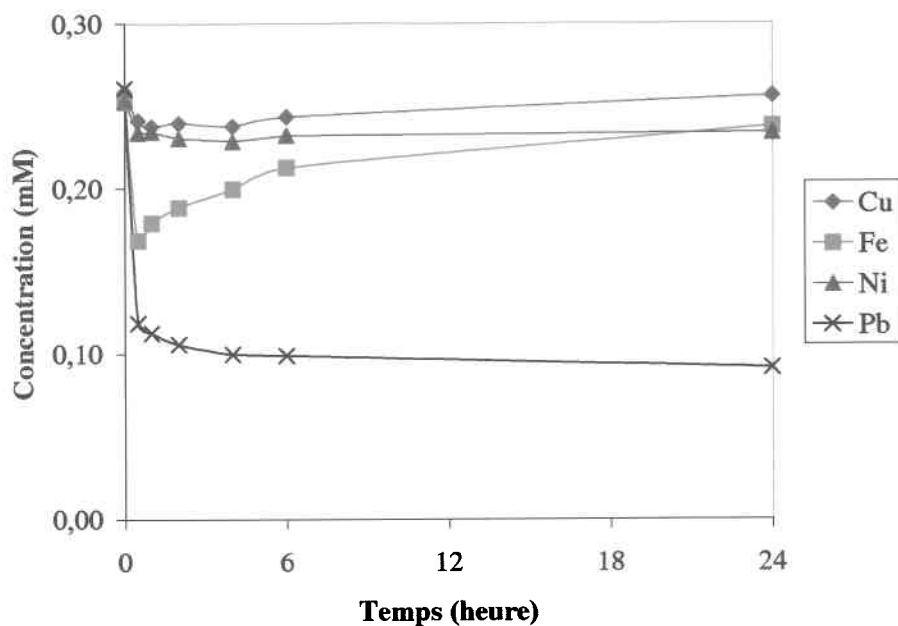


Figure 13 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écorces de pin gris et d'épinette ayant subi un traitement phosphate

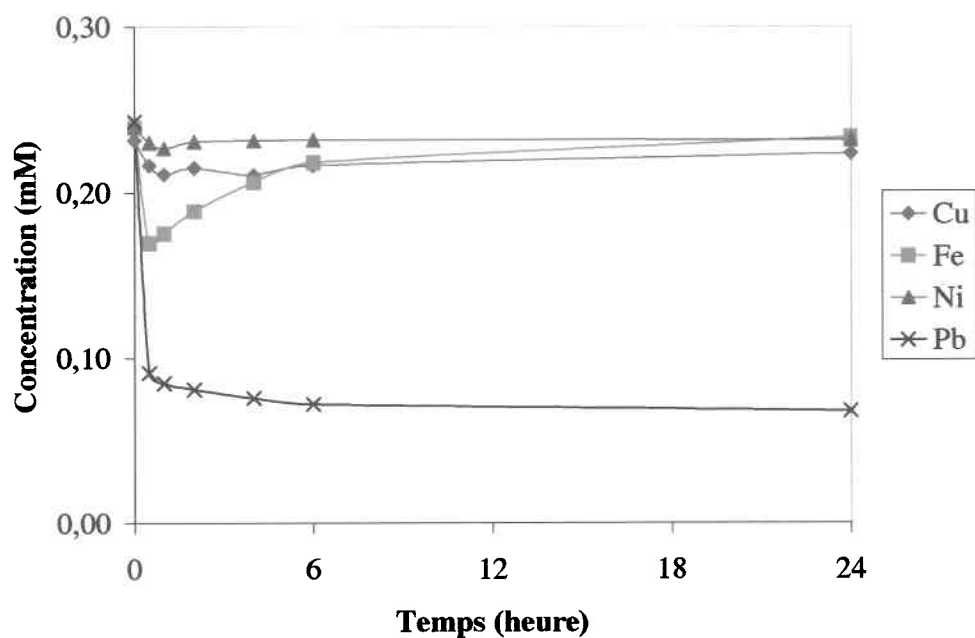


Figure 14 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles d'arachides sans traitement

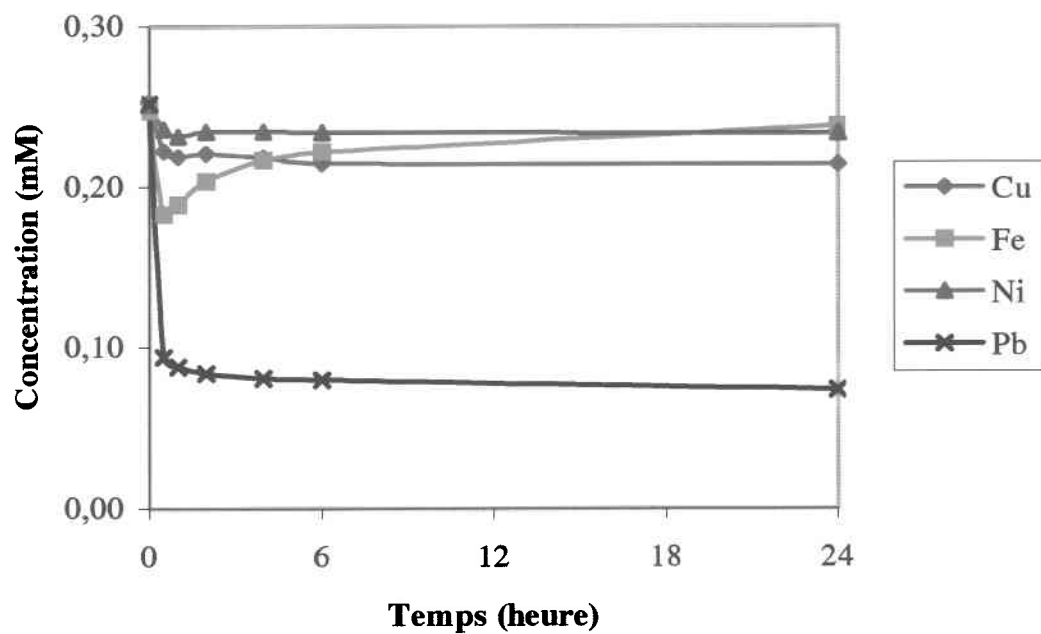


Figure 15 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles d'arachides ayant subi un traitement acide

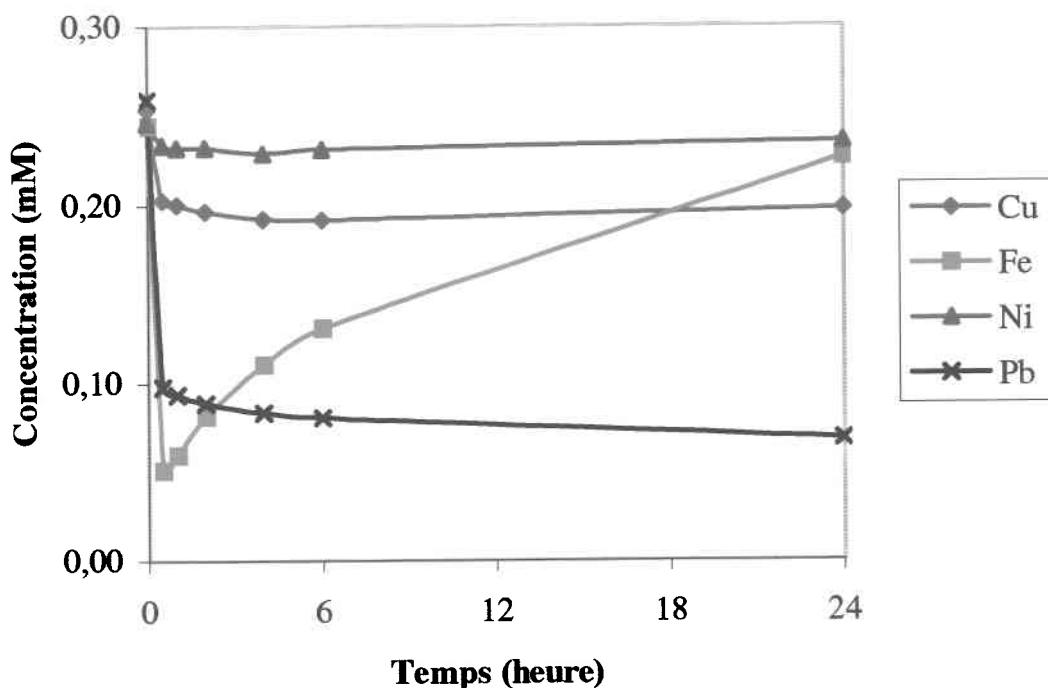


Figure 16 Variation de la concentration en métaux dissous en fonction du temps lors de l'adsorption des métaux sur les écailles d'arachides ayant subi un traitement phosphate

Les figures précédentes (Figures 2 à 16) montrent que le phénomène d'adsorption se produit rapidement et est de plus très amplifié pour le plomb. Dans certains cas, le fer s'adsorbe dans un premier temps puis est relargué dans le temps. Le relargage du fer peut être expliqué par la compétition entre les divers métaux ; il est probable que le fer s'adsorbe à la surface des substrats et que le taux d'adsorption diminue dû à la présence de charge similaire à la surface de l'adsorbant. Toutefois, des études supplémentaires avec une solution synthétique ne contenant que du fer(III) doivent être effectuées afin d'étudier davantage ce phénomène. On observe aussi le phénomène de relargage de façon marquée pour le calcium et le magnésium à la Figure 17. L'augmentation de la concentration de certains cations (Ca(II), Na(I), Mg(II)) a été observée pour tous les adsorbants. Aucune étude n'a toutefois été effectuée afin de vérifier si ce relargage est dû à la solubilisation des métaux ou encore à

un processus d'échange d'ions. Toutefois, devant la quantité importante de métaux lixiviés, ce phénomène serait plutôt attribuable à la lixiviation des métaux puisque chacun des adsorbants contient une quantité appréciable de calcium et de magnésium. En ce qui concerne les écaïlles de cacao, ces dernières contiennent 0,36 % de calcium et 0,37 % de magnésium. Également, le calcium, le sodium et le magnésium sont des éléments très solubles dans l'eau et d'autant plus à des pH acides.

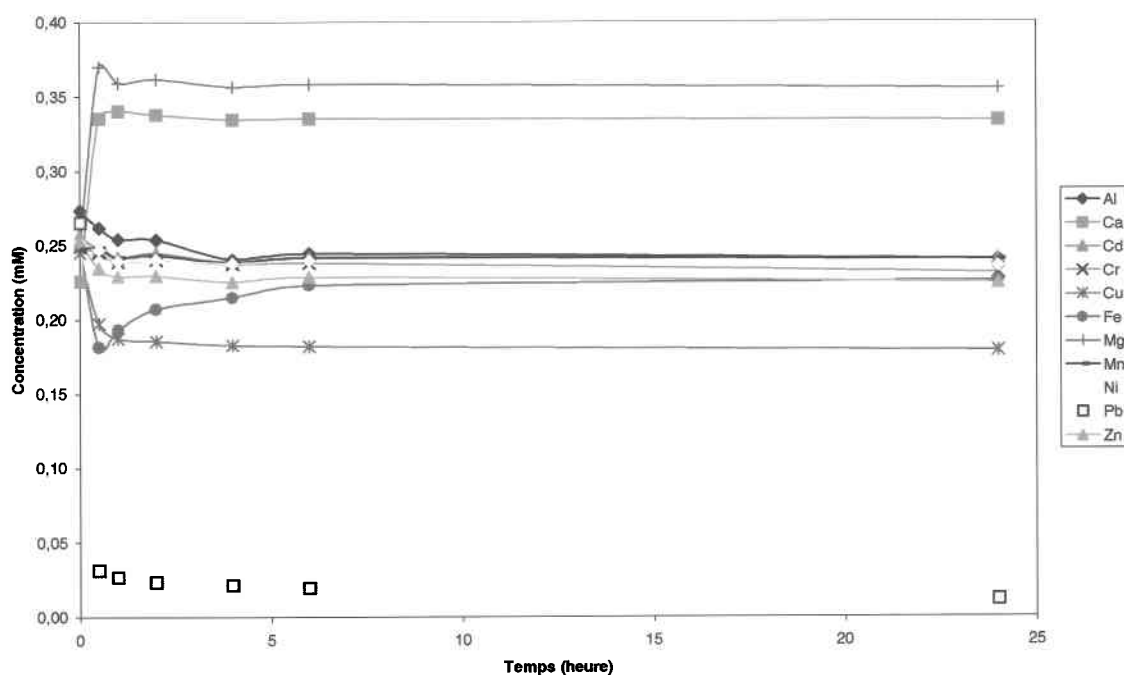


Figure 17 Adsorption et phénomène de relargage des métaux avec les écaïlles de cacao ayant subi un traitement acide

5,4 Variation du pH

Le pH de la solution synthétique a été ajusté au départ avec une solution d'hydroxyde de sodium 10 M. Ensuite, des mesures de pH ont été prises dans le temps. Tel que présenté à la Figure 18, le pH varie peu d'un adsorbant à l'autre. Cette faible variation s'explique par le fait que la solution synthétique de pH 2 est bien tamponnée. De plus, tous les adsorbants ont été préalablement lavés. Le lavage a permis d'enlever les matières résiduelles sur les

adsorbants, évitant ainsi une fluctuation du pH. Les matières résiduelles sont susceptibles de faire varier le pH puisqu'elles peuvent posséder un certain potentiel de neutralisation ou de génération d'acidité.

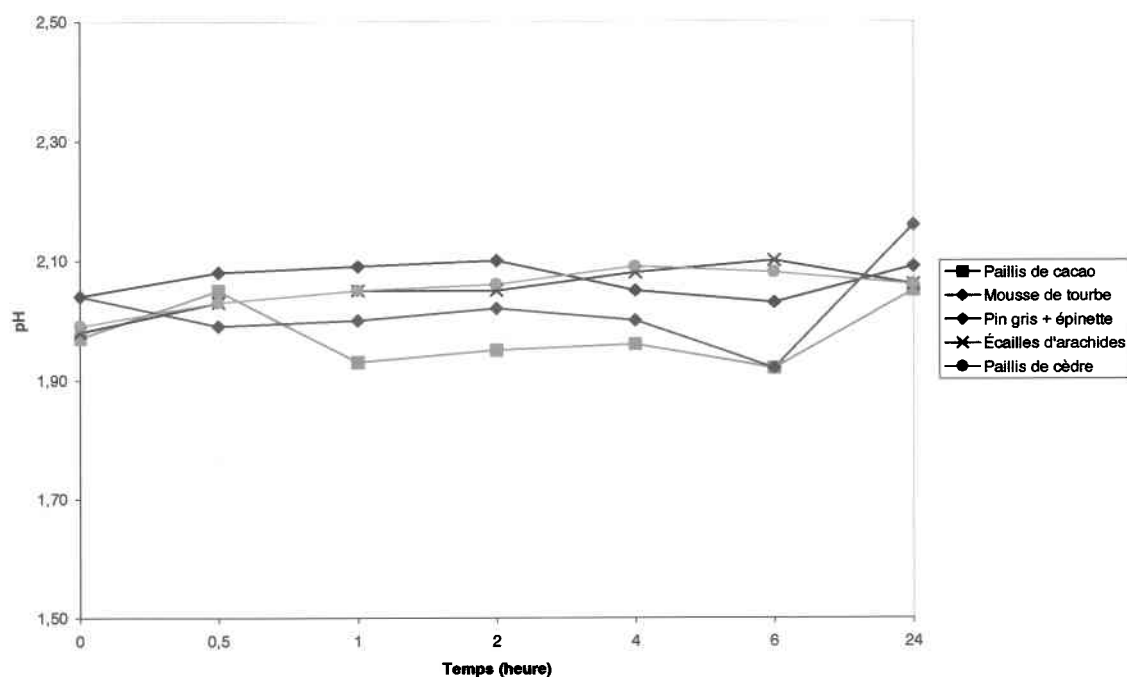


Figure 18 Fluctuation du pH en fonction du temps pour les différents adsorbants non traités

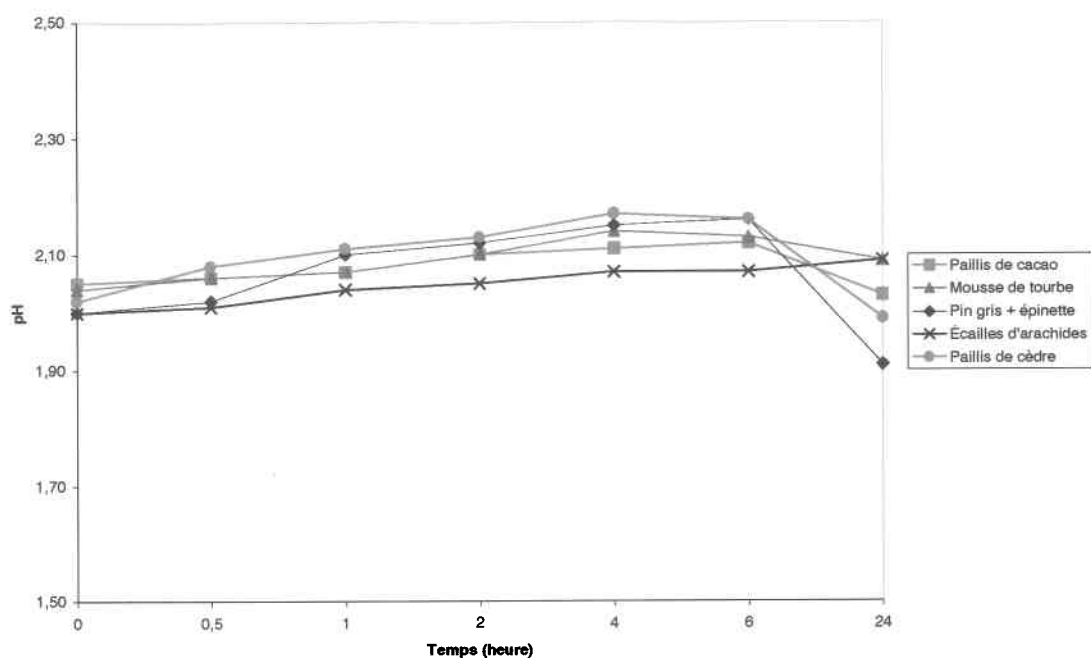


Figure 19 Fluctuation du pH en fonction du temps pour les différents adsorbants traités en milieu acide

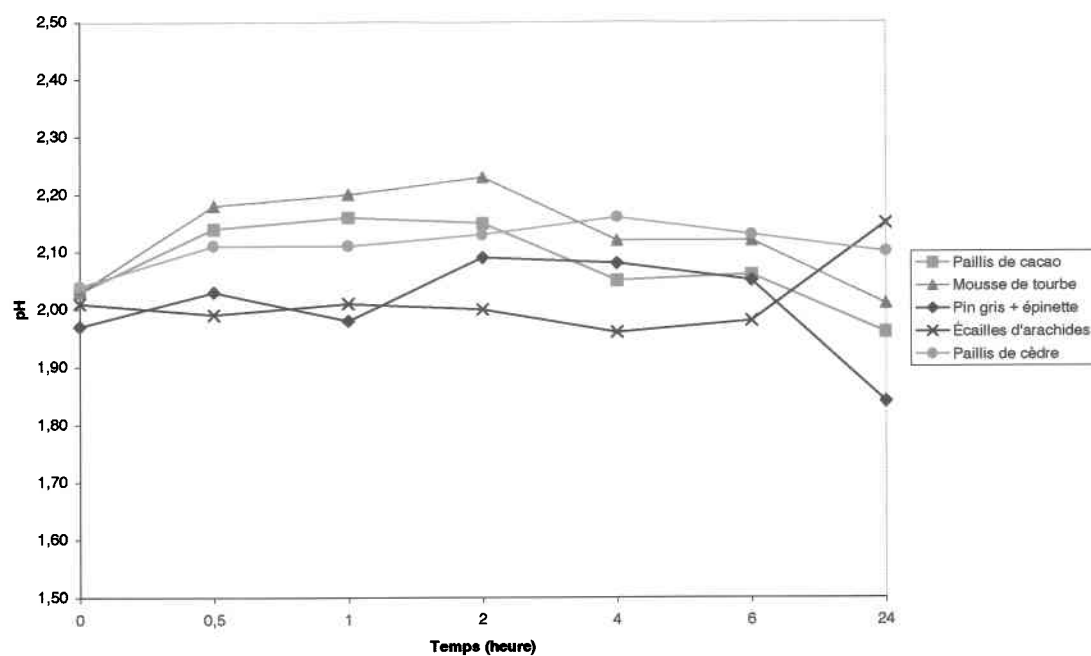


Figure 20 Variation du pH en fonction du temps pour les différents adsorbants ayant subi un traitement phosphate

Le traitement acide et le traitement de phosphatation n'affectent pas sensiblement le pH dans le temps tel que démontré aux Figures 18 à 20. En effet, immédiatement après avoir effectué les pré-traitements, les substrats ont été lavés avec de l'eau afin d'éliminer en surface les excès d'acide ou de phosphate sur les adsorbants.

5,5 Rendement d'adsorption

L'application de certains traitements chimiques (section 4,3,1) modifie considérablement l'adsorption des métaux. Les Tableaux 7 et 8 présentent pour chacun des adsorbants et chacun des métaux, les traitements chimiques qui augmentent significativement la moyenne des rendements d'adsorption (triplicata) en contact avec la solution synthétique. Ces résultats ont été déterminés à partir d'un test paramétrique de Student (section 4,8,2) et les résultats du test de Student sont présentés à l'Appendice D.

En général, les copeaux de pin gris et d'épinette enlèvent peu de métaux du lixiviat synthétique selon le protocole présenté à la section 4,4. Les rendements d'enlèvement des métaux obtenus sont les suivants : 80,1 % du plomb, 8,8 % de nickel, 11,1 % de chrome, 20,7 % de fer et 7,3 % d'aluminium. L'application d'un traitement acide (section 4,3,1) permet d'augmenter les rendements d'adsorption pour le magnésium et le manganèse. Le rendement d'adsorption n'a pas augmenté de façon significative lorsqu'un traitement phosphate est appliqué.

Le paillis de cacao permet d'enlever 95 % du plomb à pH 2,0. Des rendements inférieurs ont été obtenus pour le fer (38,4 %), le cuivre (28,1 %) et le zinc (18,3 %). Le paillis permet également d'enlever 21 % du chrome et près de 20 % du cadmium. L'application du traitement acide n'augmente pas les capacités d'adsorption mais la situation est différente en ce qui concerne les rendements d'enlèvement lorsqu'un traitement phosphate est appliqué. Les rendements augmentent de façon significative pour le chrome, le cuivre, le manganèse, le nickel, le plomb et le zinc. Plus spécifiquement, 48,4 % du cuivre, 38,5 % de fer, 25,9 % de zinc, 25,3 % de nickel et 25,8 % de cadmium ont été enlevés d'une solution

synthétique de concentration équimolaire (0,25 mM).

En ce qui a trait aux écaïlles d'arachides, les rendements d'enlèvement pour les divers métaux sont tous inférieurs à 10 % à l'exception du plomb. Le traitement acide augmente les rendements d'adsorption pour le cadmium, le chrome, le cuivre et le manganèse. Toutefois, les rendements demeurent faibles. Le rendement phosphate ne semble pas être d'une grande efficacité pour ce substrat.

Le paillis de cèdre permet d'enlever 63,7 % du plomb, 24,6 % de chrome, 24,2 % de cuivre, 12,1 % de nickel et moins de 1 % d'aluminium. Le rendement acide augmente considérablement le rendement d'adsorption pour l'aluminium à un niveau de 25,2 %. Des rendements d'enlèvement de 77,8 % et de 35,8 % ont été obtenus respectivement pour le plomb et pour le cuivre. Le traitement phosphate augmente seulement les rendements d'adsorption pour l'aluminium et le fer.

L'application des traitements chimiques à la mousse de tourbe permet d'augmenter considérablement les rendements d'adsorption pour la plupart des métaux. Les traitements chimiques diminuent le caractère hydrophobe de la mousse de tourbe et permet à la mousse de tourbe un meilleur contact avec le lixiviat. Le traitement acide permet d'enlever 53,3 % du plomb, 46,0 % du cuivre, 41,7 % d'aluminium et 32,6 % du chrome. Le traitement phosphate a enlevé quant à lui 79,4 % du plomb, 71,1 % du chrome, 67,8 % du cuivre, 53,7 % de fer, 42 % d'aluminium et 21 % de zinc.

L'efficacité d'un traitement dépend donc de la nature du substrat. Le traitement à l'hydrogénophosphate de disodium augmente en général les rendements d'adsorption pour l'aluminium, le cadmium, le chrome, le fer, le manganèse, le nickel et le zinc. Pour chacun des traitements et des substrats, il semble que le plomb ait une certaine affinité pour s'adsorber à pH acide. En effet, dans les conditions employées, le plomb obtient souvent les meilleurs rendements d'adsorption. La masse molaire du plomb (207,20 g/mol) est la plus élevée de tous les métaux étudiés, il n'est donc pas étonnant que par unité de masse par unité d'adsorbant que ce substrat obtienne les meilleurs résultats. Holan et Volesky (1995) ont également obtenu de meilleurs rendements d'adsorption pour le plomb en utilisant des

sciures de bois modifiées (*Picea engelmannii*). Ces derniers ont constaté que le plomb s'adsorbait préférentiellement au cadmium et au nickel. Les résultats obtenus sont donc en accord avec ceux de Holan et Volesky (1995). Les rendements d'adsorption pour les métaux étudiés après 24 h (section 4,4) pour chacun des adsorbants avec leurs pré-traitements sont présentés aux Figures 21 à 23. Les barres d'erreurs présentées sur les Figures 21 à 23 représentent l'écart type sur les échantillons (triplicata).

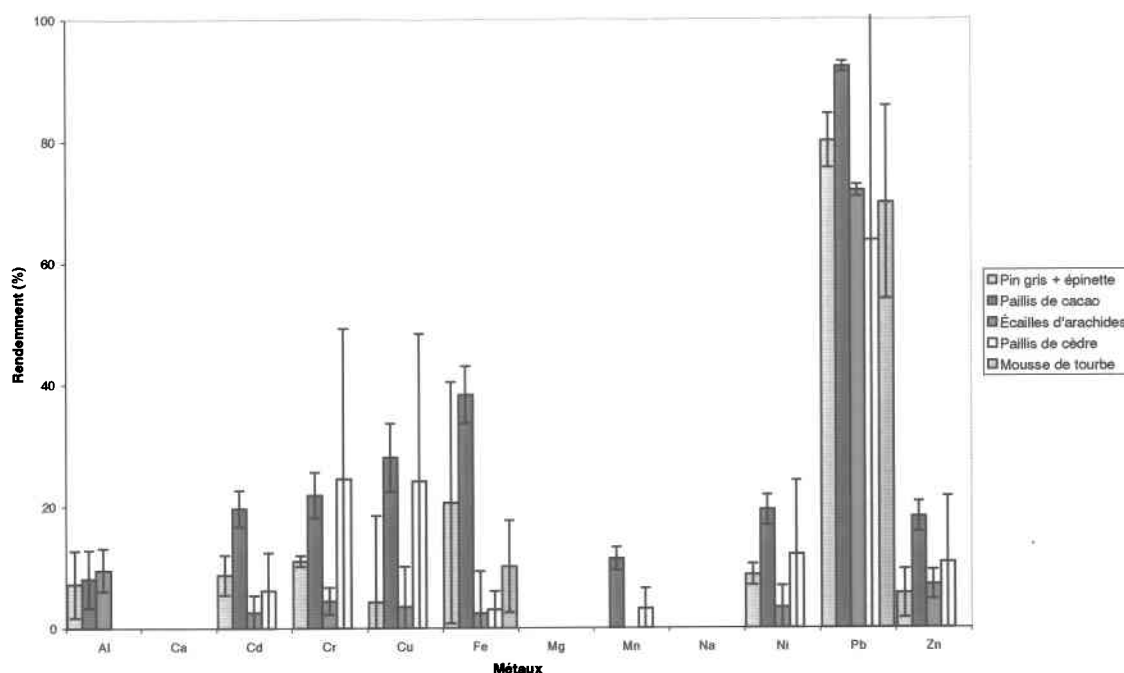


Figure 21 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants non-traités après 24 h de contact avec la solution synthétique à pH 2

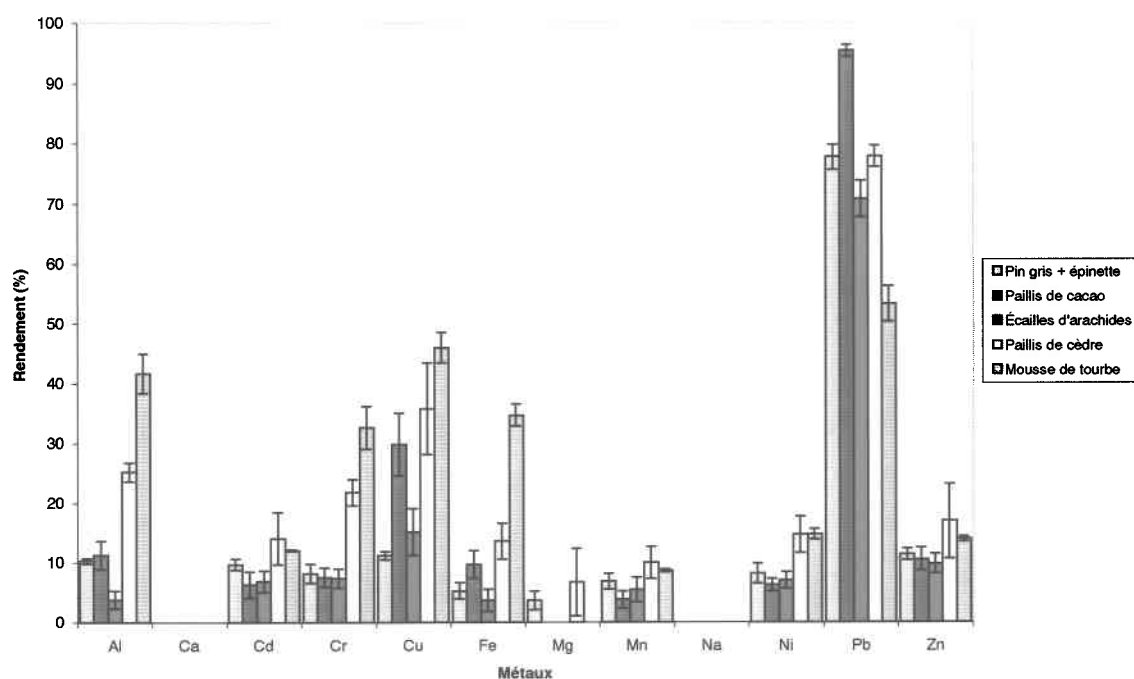


Figure 22 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants traités en milieu acide après 24 h de contact avec la solution synthétique à pH 2

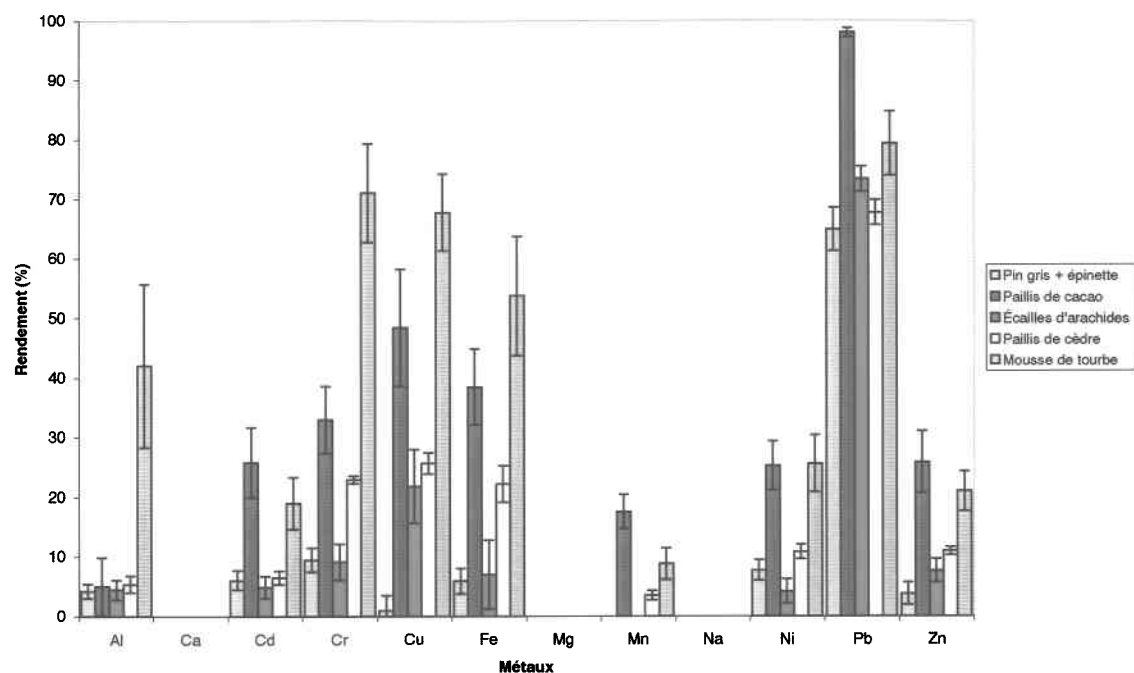


Figure 23 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants ayant subi un traitement phosphate après 24 h de contact avec la solution synthétique à pH 2

De façon générale, le traitement acide améliore pour plusieurs métaux les rendements d'adsorption des écailles d'arachides, de la mousse de tourbe et du paillis de cèdre. Les capacités d'adsorption diminuent toutefois en ce qui concerne les écailles de cacao. Le traitement phosphate améliore quant à lui les capacités d'adsorption du paillis de cacao, et de la mousse de tourbe pour certains métaux, mais diminue de façon notable celle du mélange d'écorces de pin gris et d'épinette.

Tableau 7 Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement acide est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat synthétique)

	Copeaux de pin gris et épinette	Paillis de cacao	Écailles d'arachides	Paillis de cèdre	Mousse de tourbe
Al				√	√
Ca					
Cd			√		√
Cr			√		√
Cu			√		√
Fe				√	√
Mg	√				
Mn	√		√	√	√
Na					
Ni					√
Pb		√		√	
Zn					√

Tableau 8 Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement phosphate est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat synthétique)

	Copeaux de pin gris et épinette	Paillis de cacao	Écailles d'arachides	Paillis de cèdre	Mousse de tourbe
Al				✓	✓
Ca					
Cd					✓
Cr		✓			✓
Cu		✓	✓		✓
Fe					✓
Mg					
Mn		✓			✓
Na					
Ni		✓			✓
Pb		✓			
Zn		✓			✓

5,5,1 Bilan du couple adsorbant-adsorbat entre le plomb et les écailles de cacao

Afin de mieux comprendre le processus d'enlèvement des métaux, un bilan du couple adsorbant-adsorbat entre le plomb et les écailles de cacao a été effectué. Lors de l'essai, la concentration initiale en plomb de la solution synthétique était de 54,8 mg/L et après adsorption, la concentration dans le filtrat est passé à 3,0 mg/L. Il y a donc eu une diminution en plomb de 51,8 mg/L, soit un équivalent de 2,59 mg/g, cette quantité de plomb doit être adsorbé sur les écailles de cacao. Afin de s'en assurer, une digestion totale des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé a été effectuée afin de vérifier si le plomb se retrouve bel et bien sur les écailles (Tableau 9).

Tableau 9 **Concentration en plomb sur les écailles de cacao après digestion totale**

Écailles de cacao avant adsorption	Écailles de cacao après adsorption du plomb	Concentration attendue
< 0,1 mg/g	2,71 mg/g	2,59 mg/g

Les résultats démontrent bien que le plomb est sorbé sur les écailles de cacao. En effet, selon les concentrations obtenues avant et après l'adsorption dans le filtrat, 2,59 mg Pb(II)/g d'adsorbant sont manquants. La digestion totale des écailles de cacao après adsorption révèle la présence de 2,71 mg Pb(II)/g d'adsorbant, soit un pourcentage de récupération de 104 %. De toute évidence, le plomb se retrouve à la surface ou à l'intérieur des écailles de cacao. Nous ne sommes pas en mesure de statuer sur le mécanisme d'adsorption puisque cela demanderait une recherche approfondie et constituerait à lui seul un autre sujet de recherche à part entière. Néanmoins, ces résultats démontrent que le plomb est bel et bien sorbé sur les écailles de cacao. Également, les modèles d'adsorption électrostatique ont été utilisés pour décrire l'adsorption du plomb sur divers oxydes (Schindler *et al.* 1976 ; Davis et Leckie, 1978 ; Hohl et Stumm, 1976 ; Balistrieri et Murray, 1982). Les modèles diffèrent selon l'espèce dominante adsorbée. Par exemple, les ions Pb^{2+} et PbOH^+ remplaceraient des protons provenant des groupements hydroxyles.

L'adsorption du plomb sur divers substrats n'a pas été étudiée excessivement. Toutefois, un nombre de chercheurs a étudié l'adsorption du plomb sur les oxydes de fer, d'aluminium, de manganèse, de silicium et de titane (Gadde et Laitinen, 1973 ; Forbes *et al.*, 1976 ; McKenzie, 1980 ; Benjamin et Leckie, 1981 ; Davies et Leckie, 1978 ; Schindler *et al.* 1976 ; Stumm *et al.* 1976).

Les résultats ont démontré que l'adsorption du plomb se produit à un pH inférieur à celui du cuivre et du zinc sur l'oxyde de fer (Fe_2O_3) (McKenzie, 1980), sur l'oxyhydroxide de fer amorphe et l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), suggérant que le plomb est adsorbé plus fortement. De plus, des travaux ont démontré que le plomb s'adsorbe également à pH

basique ce qui est attribué à de nombreux facteurs tels que la formation de PbOH^+ (Davies et Leckie, 1978), la diminution de la surface de la charge positive (Barrow et al., 1981) et de la surface de complexation bidentate (Hohl et Stumm, 1976).

L'adsorption du plomb sur les oxyde et oxyhydroxide n'est relativement pas affecté par la présence d'autres cations métalliques en concentrations égales ou par des changements de la force ionique (EPRI, 1987). La plupart des anions tels que ClO_4^- , Cl^- et NO_3^- ont peu d'influence sur l'adsorption du plomb sur les oxydes de fer, mais les ions SO_4^{2-} ont augmenté l'adsorption du plomb possiblement due à la réduction de la surface de la charge positive de l'ion SO_4^{2-} .

5,6 Isotherme d'adsorption (simple élément)

Des essais en erlenmeyers ont été réalisés à une température de 25°C dans un incubateur rotatif. La concentration initiale de plomb demeurait la même, mais la concentration en substrat variait selon la procédure décrite précédemment (section 4,5). Cette démarche permet d'évaluer si l'adsorption correspond à un modèle d'adsorption tels le modèle de Langmuir ou de Freundlich. Les Figures 24 et 25 démontrent bien que l'adsorption du plomb sur les écailles de cacao est décrite par un isotherme de Langmuir. De plus, l'adsorption du plomb sur tous les adsorbants est décrite par un isotherme de Langmuir à l'exception du mélange d'écorces de pin gris et d'épinette. Étant donné qu'il s'agit d'un mélange d'espèces d'arbres, il est difficile d'obtenir des résultats reproductibles puisque la composition des espèces avant broyage peut varier d'un essai à l'autre. Le Tableau 10 présente les valeurs de q_{max} obtenues sur les substrats sans application de traitement chimique pour le plomb à pH 2 à une température de 25°C.

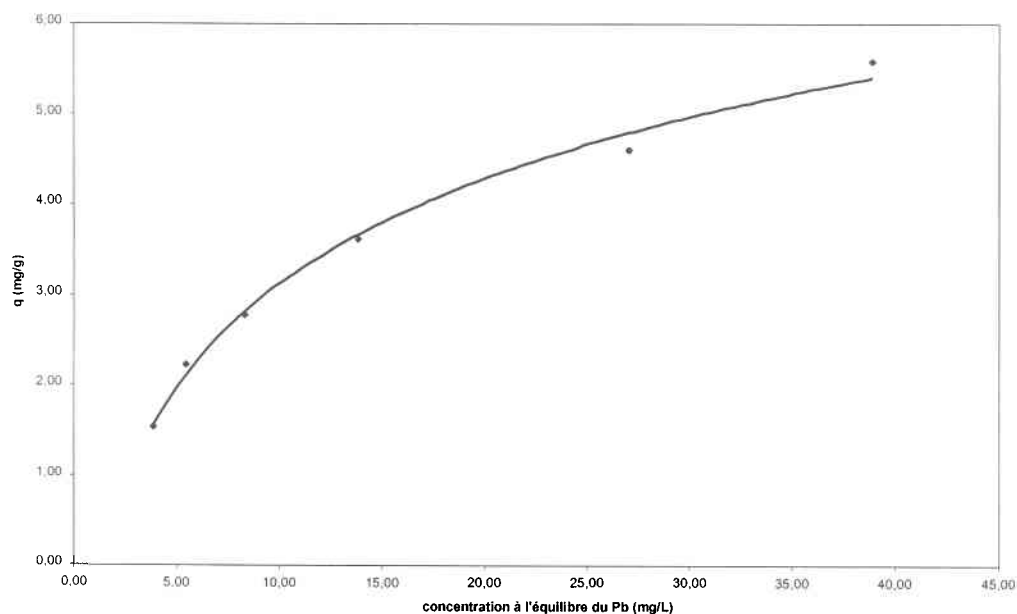


Figure 24 Isotherme de Langmuir de l'adsorption du plomb à pH 2 avec les écaïlles de cacao sans traitement

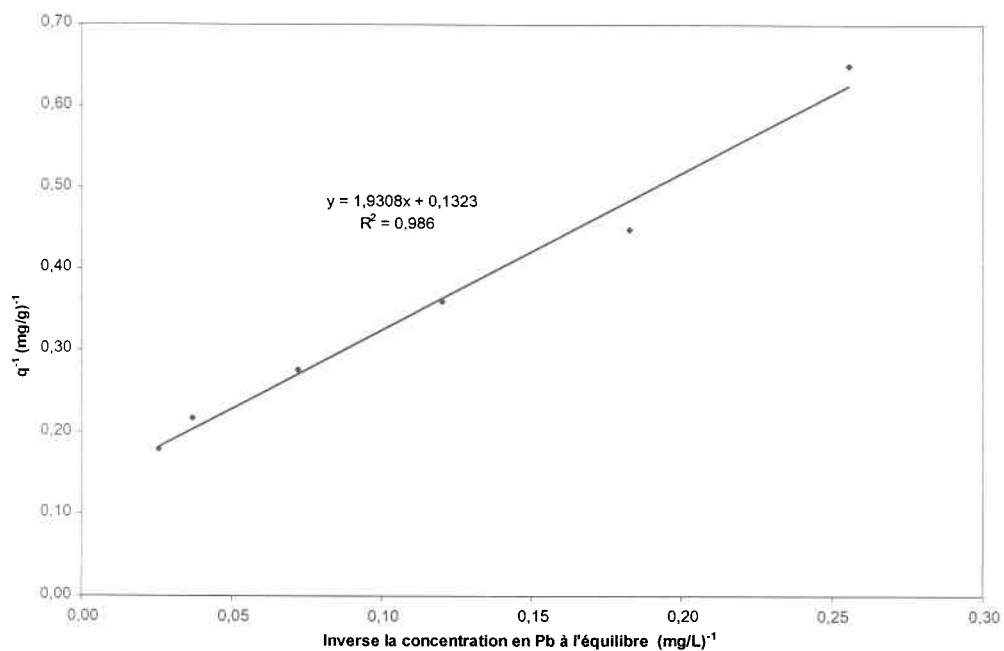


Figure 25 Isotherme de Langmuir de l'adsorption du plomb à pH 2 avec les écaïlles de cacao sans traitement

5,7 Isotherme d'adsorption (multi-éléments)

Une grande variété de métaux peut se retrouver dans les effluents industriels ou naturels. Lors d'un processus d'adsorption, différents métaux peuvent donc s'adsorber à la surface des adsorbants. L'adsorption est généralement restreinte au modèle de monocouche (Langmuir), et l'adsorption multi-éléments implique la compétition entre les divers métaux pour les sites disponibles. Une réduction de la capacité d'adsorption de chacune des espèces métalliques est alors rencontrée. La diminution du pourcentage d'adsorption dépend de l'affinité de chacun des métaux envers la surface, la concentration relative des métaux et les interactions possibles entre ceux-ci lors de l'adsorption. L'effet de la compétition entre les métaux est illustré à la Figure 26.

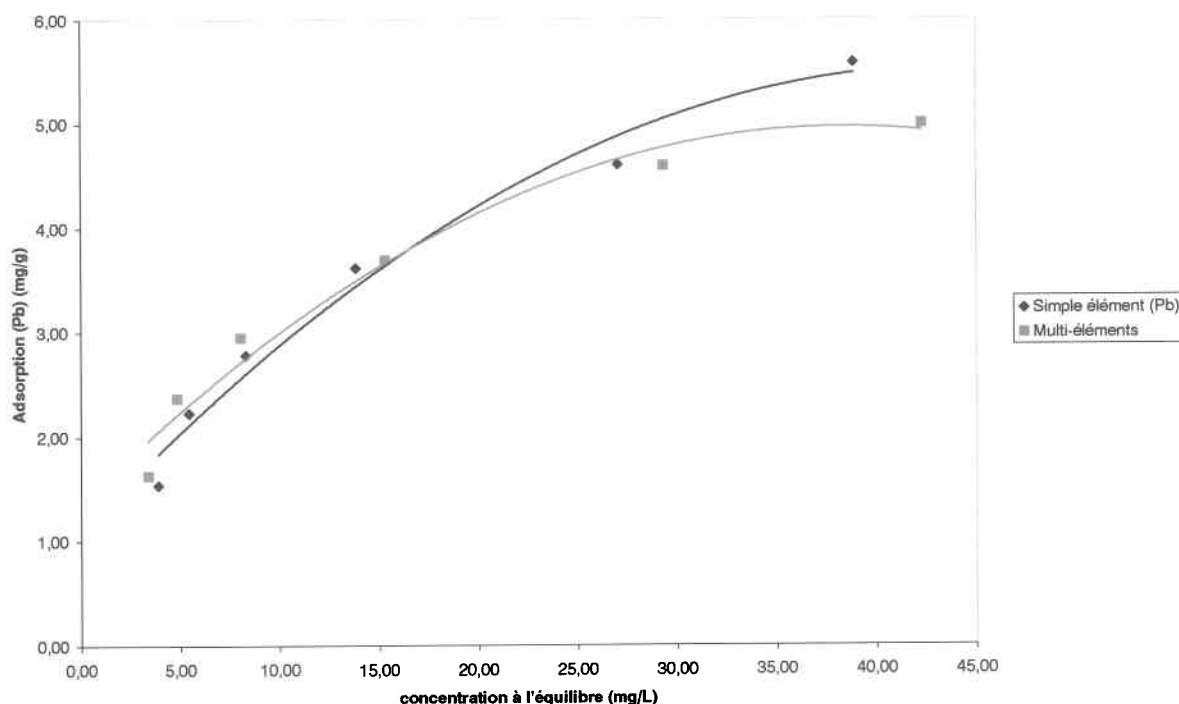


Figure 26 Comparaison des isothermes de Langmuir lors de l'adsorption du plomb sur les écailles de cacao (sans traitement) en contact avec la solution synthétique et une solution ne contenant que du plomb à pH 2

L'inhibition mutuelle (empêchement ou ralentissement de l'adsorption) des métaux affecte la capacité d'adsorption du plomb, mais pas de façon importante. Les isothermes révèlent que la capacité maximale d'adsorption du plomb ($q_{\max}$) diminue de 1,51 mg/g en présence de plusieurs métaux ce qui est en accord avec les travaux précédents (EPRI, 1987).

Plusieurs modèles mathématiques ont été développés pour prédire l'adsorption de plusieurs solutés à partir des propriétés individuelles des composantes. Le modèle développé par Butler et Ockrent (1930) est souvent utilisé pour prédire les concentrations à l'équilibre dans un mélange. Ce modèle permet de calculer q_i , la quantité de l'espèce i adsorbée par unité de poids de l'adsorbant à la concentration d'équilibre C_e en la présence d'un mélange de j solutés.

$$q_i = \frac{q_{\max, i} b_i C_{e, i}}{1 + \sum_{j=1}^n (b_j C_{e, j})} \quad [23]$$

Les constantes $q_{\max}$ et b sont obtenues pour un soluté simple. L'équation 23 ou modifiée à été appliquée par plusieurs chercheurs (Faust et Aly, 1999) pour prédire les concentrations à l'équilibre d'un système à deux solutés en utilisant les termes de l'équation de Langmuir des composés purs.

Pour que cette équation soit rigoureusement acceptable, il faut faire l'hypothèse que chacun des cations métalliques compétitionne pour le même type de groupement fonctionnel. On doit également faire l'hypothèse que chaque espèce métallique s'adsorbe sur le même type de groupement fonctionnel indépendamment de son degré d'oxydation. La solution synthétique contient 12 métaux de différents états d'oxydation (I, II et III). Les isothermes obtenus pour chacun des métaux provenant de la solution métallique en considérant les hypothèses précédentes nous permettent de calculer les constantes d'équilibre. Ces résultats peuvent ensuite être insérés dans l'équation de Butler et Ockrent afin de déterminer la capacité maximale d'adsorption pour un métal donné. Toutefois, il est difficile d'appliquer cette équation pour chacun des adsorbants puisqu'il ne semble pas y avoir de tendance ou d'isothermes possibles lorsqu'il y a plusieurs métaux. En conséquence, nous ne pouvons

pas vérifier l'équation de Langmuir développée par Butler et Ockrent (1930) à partir des adsorbants étudiés. Néanmoins seulement à titre comparatif, nous avons appliqué au plomb la relation de Langmuir (équation 13) en faisant l'hypothèse que l'adsorption des métaux autres que le plomb est faible ou négligeable.

5,7,1 Comparaison multi éléments par rapport à simple élément

Il est ainsi possible de vérifier que la présence de plusieurs métaux affecte la capacité d'adsorption du plomb en comparant la capacité d'adsorption du plomb entre les deux types de solutions (simple vs multi-éléments). L'adsorption du plomb sur les divers substrats (à l'exception du mélange de pin gris et d'épinette) dans la solution synthétique (12 métaux) obéit à un isotherme de Langmuir. Cette démarche nous permet alors de faire une analyse semi-quantitative de l'effet de la présence des autres métaux. En déterminant graphiquement les constantes de Langmuir, il est possible de les comparer avec celles obtenues à l'aide de la solution contenant uniquement le plomb.

Tableau 10 Capacité d'adsorption et coefficient de détermination selon l'isotherme de Langmuir à pH 2 pour le plomb

Paramètres	Écailles de cacao	Copeaux de cèdre	Écorces de pin gris et épinette	Mousse de tourbe	Écailles d'arachides
q_{max} (mg/g)	7,56	4,36	0,79	7,36	2,84
Coefficient de détermination (R^2)	0,986	0,986	0,108	0,990	0,994

Tableau 11 Capacité d'adsorption et coefficient de détermination selon l'isotherme de Langmuir à pH 2 dans la solution synthétique

Paramètres	Écailles de cacao	Copeaux de cèdre	Écorces de pin gris et épinette	Mousse de tourbe	Écailles d'arachides
$q_{\max}$ (mg/g)	6,07	2,47	3,16	2,86	2,42
Coefficient de détermination (R^2)	0,9799	0,0154	0,9694	0,5949	0,354

On remarque aux Tableaux 10 et 11 que presque toutes les capacités d'adsorption ainsi que les coefficients de détermination sont supérieurs pour les essais avec la solution synthétique contenant uniquement du plomb. Ces résultats démontrent de façon significative que la présence de plusieurs éléments métalliques affecte l'adsorption du plomb sur les écailles de cacao. Les résultats sont toutefois différents en ce qui concerne le mélange d'écorces de pin gris et d'épinette. En effet, d'une série d'essai à l'autre, différents rendements ont été obtenus en utilisant ce substrat. Ces différences sont attribuables au fait qu'il s'agit d'un mélange et les proportions de diverses espèces d'arbres peuvent varier avant l'étape d'homogénéisation des échantillons.

5,8 Étude de désorption

Étant donné que les meilleurs résultats ($q_{\max}$) ont été obtenus avec les écailles de cacao, des travaux ont été réalisés afin de vérifier la possibilité de régénérer ce matériau afin de l'utiliser à nouveau. Les essais effectués ont montré qu'il est en effet possible de régénérer les écailles de cacao pour plus de quatre cycles de sorption-désorption sans détérioration physique du substrat et ce, sans perte de performance. On remarque sur la Figure 27 que les rendements d'adsorption de plusieurs métaux (Al, Cd, Cr, Mn, Ni, Zn) diminuent lorsque le nombre de cycles de sorption/désorption augmente en utilisant les écailles de cacao. Cette tendance n'est toutefois pas observée en ce qui concerne le plomb et le cuivre pour les écailles de cacao. Ainsi, l'augmentation du nombre de cycles de sorption/désorption nous

de régénération des écailles de cacao, le rendement d'enlèvement du plomb demeure sensiblement constant (90 %) alors qu'il diminue pour les autres métaux. L'adsorption est qualifiée de quasi sélective pour le cas des écailles de cacao, puisque après plusieurs cycles de sorption/désorption, le rendement d'adsorption du cuivre n'a pas diminué lors du quatrième cycle.

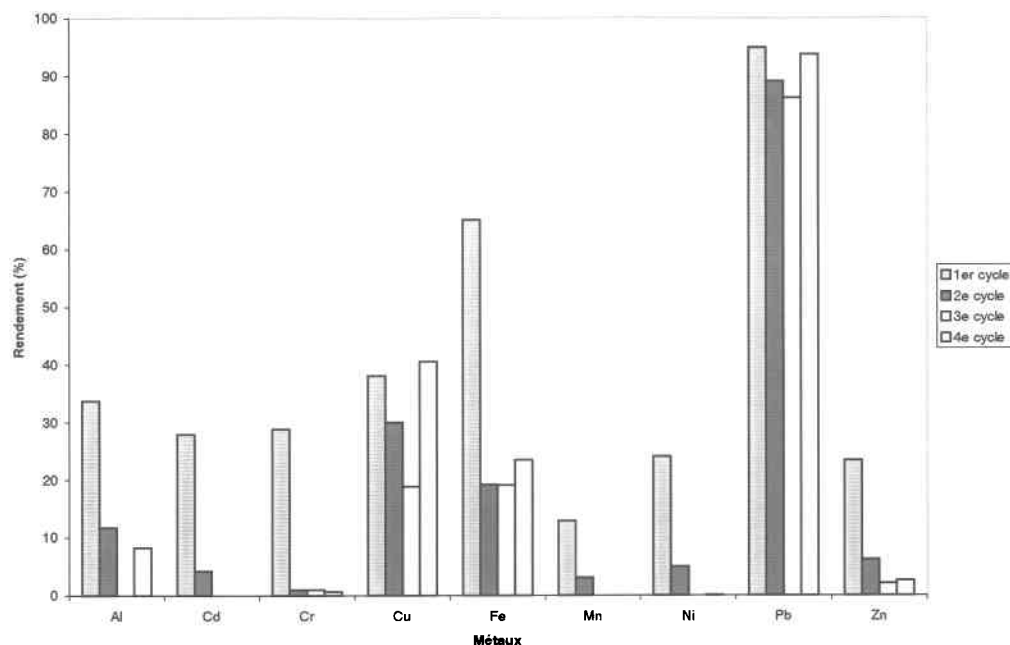


Figure 27 Rendement moyen d'adsorption des métaux après plusieurs cycles de régénération des écailles de cacao

6 RÉSULTATS ET DISCUSSION CONCERNANT LE LIXIVIAT DE BOUES D'ÉPURATION

Dans les chapitres précédents, les rendements d'adsorption, la désorption des métaux, les isothermes d'adsorption ont été étudiés pour les différents substrats en utilisant une solution synthétique. La matrice de cette solution est relativement simple, elle contient seulement les métaux et les anions correspondants, les nitrates. Il est nécessaire de s'assurer qu'il est possible de réaliser de l'adsorption en employant une matrice plus chargée en matière organique, cations et anions. Ce chapitre contient les résultats concernant les essais à partir d'un tel lixiviat, soit un lixiviat issu d'un procédé de décontamination de boues d'une station d'épuration des eaux usées municipales.

6,1 Caractéristiques du lixiviat de boues d'épuration

Le lixiviat provient de la station d'épuration des eaux usées de la Communauté Urbaine de Montréal (CUM). Les Tableaux 12 et 13 montrent les différentes caractéristiques du lixiviat. Ce dernier est particulièrement chargé en matière organique et en matières en suspension (MES).

Tableau 12 Contenu en métaux du lixiviat de boues d'épuration

Métaux	Concentration (mg/L)
Al	119
Ca	21,5
Cd	0,27
Cr	0,97
Cu	11,3
Fe	171
Mg	35
Mn	7,50
Na	121
Ni	0,69
Pb	0,58
Zn	13,7

Tableau 13 Différents paramètres du lixiviat de boues d'épuration

Paramètres	Valeurs
pH	2,45
MES	2170 mg/L
Carbone organique dissous	1020 mg/L
Solides totaux	10 300 mg/L
NH ₄ ⁺	156 mg/L

Le lixiviat de boues d'épuration est davantage concentré en ce qui concerne l'aluminium, le calcium, le fer, le magnésium et le sodium par rapport à la solution synthétique utilisée auparavant. Le lixiviat est moins concentré pour le cadmium, le chrome, le cuivre, le manganèse, le nickel, le plomb et le zinc. Il est normal de retrouver de faibles concentrations de métaux lourds dans le lixiviat puisqu'il s'agit d'un lixiviat de boues de stations d'épuration municipales. En ce qui concerne le plomb dans le lixiviat de boues, la teneur est près de quatre-vingt-dix fois inférieure à celle du lixiviat synthétique. Toutefois, la matrice du lixiviat de boues est beaucoup plus chargée en matière organique.

6,2 Rendement d'adsorption

Il a été démontré que les traitements chimiques affectent le rendement d'adsorption des divers substrats étudiés. Les Figures 28 à 30 présentent le rendement moyen d'adsorption après 24 h tel que mentionné selon le protocole de la section 4,4. Les barres d'erreurs sur les Figures 28 à 30 représentent l'écart type sur la moyenne (triplicata). Les Tableaux 14 et 15 présentent pour chacun des adsorbants et chacun des métaux, les traitements chimiques qui augmentent significativement la moyenne des rendements d'adsorption (triplicata) en contact avec le lixiviat de boues. Ces résultats ont été déterminés à partir d'un test paramétrique de Student (section 4,8,2) et les résultats du test de Student sont présentés à l'Appendice C.

Dans certains cas, la matrice du lixiviat semble donc avoir une influence sur les rendements d'adsorption. La présence de matière organique et d'anions affecter l'efficacité de l'adsorption. Al-Asheh et Duvnjak (1998) se sont intéressé aux rendements d'adsorption lorsque plusieurs métaux sont présents en solution. De plus, des rendements différents ont été obtenus pour un anion donné, toutefois, aucune étude n'a démontré l'effet de la matière organique sur les rendements d'adsorption.

Tableau 14 Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement acide est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat de boues d'épuration)

	Copeaux de pin gris et épinette	Paillis de cacao	Écailles d'arachides	Paillis de cèdre	Mousse de tourbe
Al					
Ca	√				
Cd					
Cr					
Cu					
Fe					
Mg					
Mn					
Na			√		
Ni					
Pb					
Zn					

Tableau 15 Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement phosphate est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat de boues d'épuration)

	Copeaux de pin gris et épinette	Paillis de cacao	Écailles d'arachides	Paillis de cèdre	Mousse de tourbe
Al		✓		✓	✓
Ca					
Cd					
Cr					✓
Cu					✓
Fe					
Mg					
Mn					
Na					
Ni					
Pb					✓
Zn					

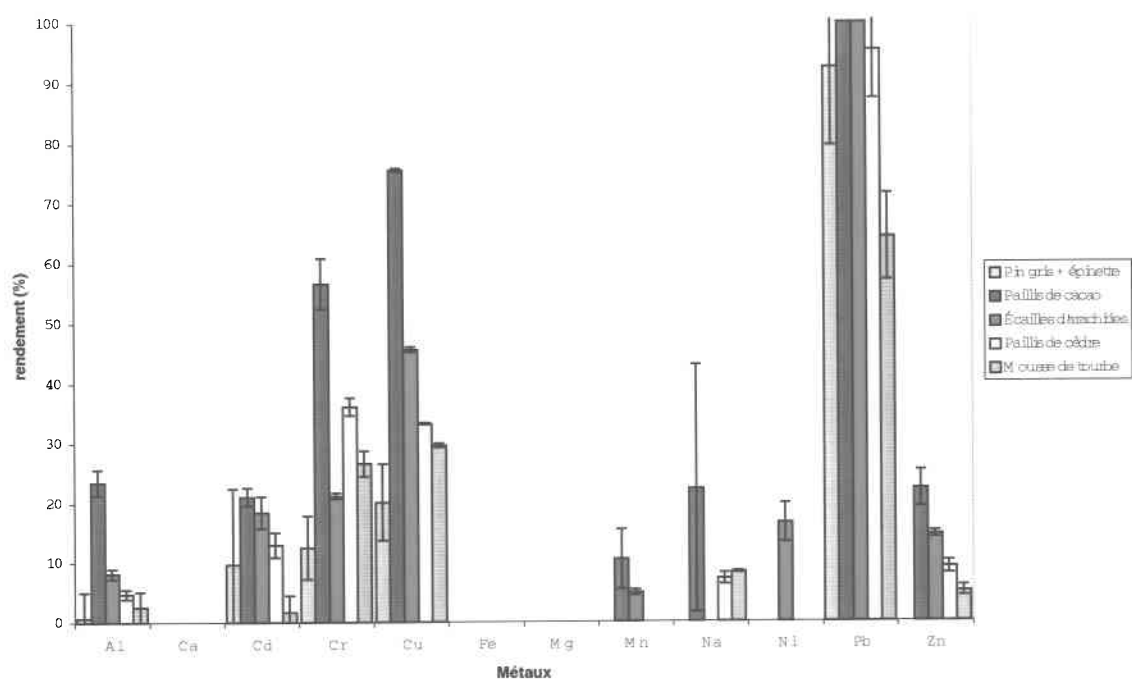


Figure 28 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants non-traités après 24 h de contact avec le lixiviat de boues d'épuration

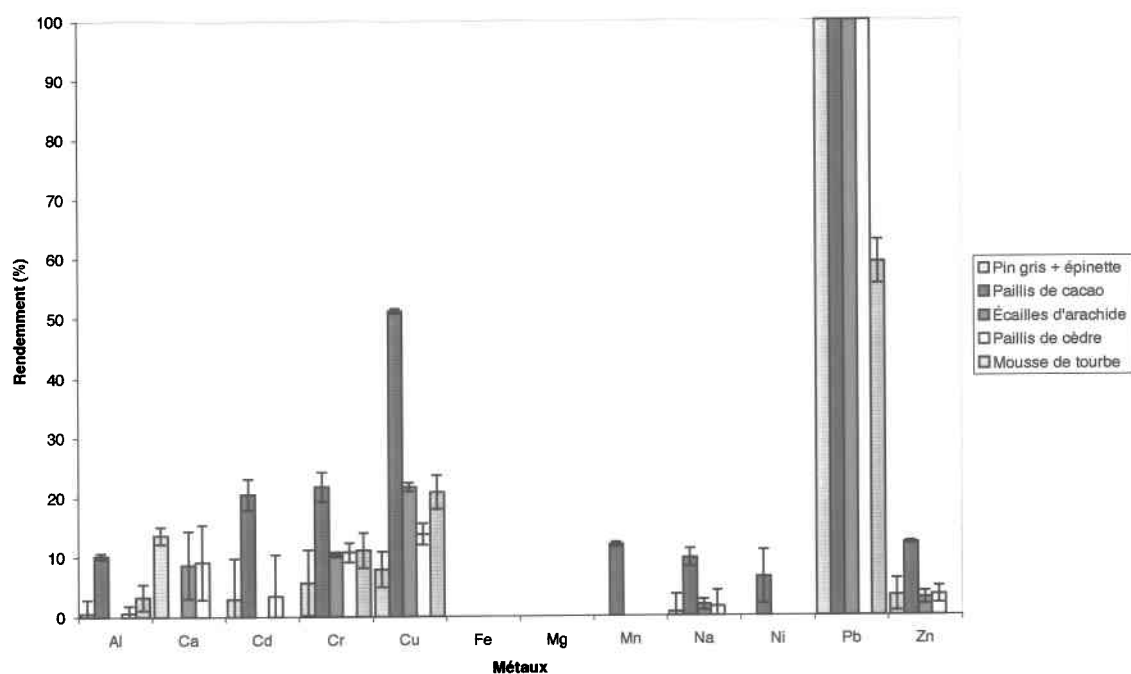


Figure 29 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants traités en milieu acide après 24 h de contact avec le lixiviat de boues d'épuration

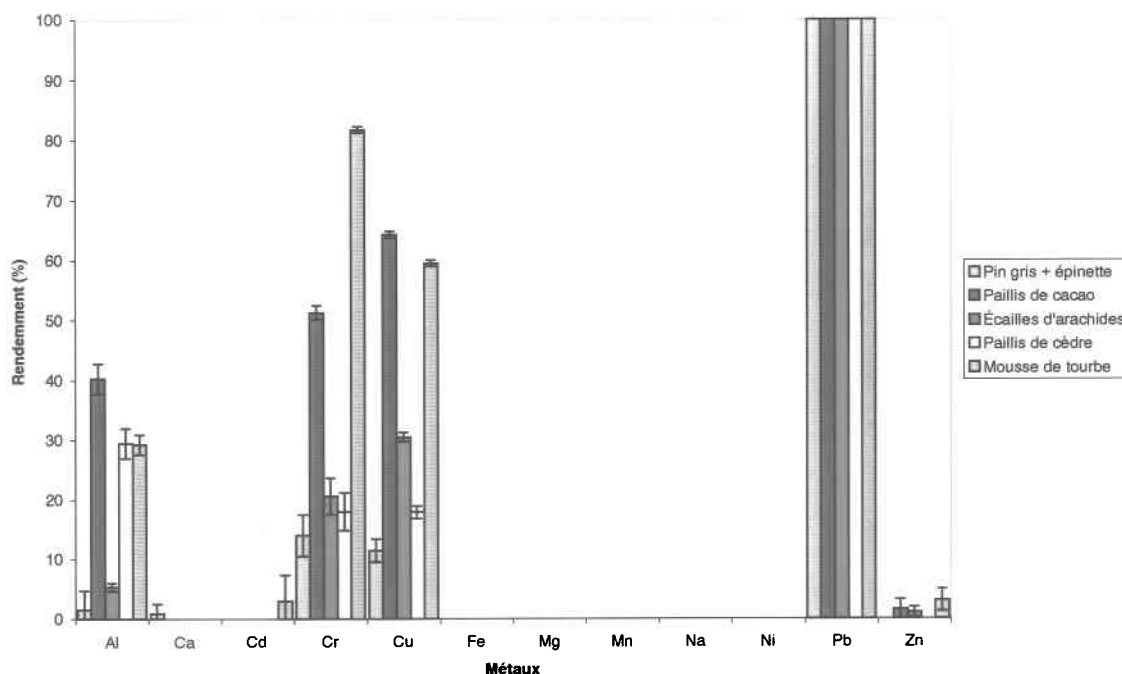


Figure 30 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants ayant subi un traitement phosphate après 24 h de contact avec le lixiviat de boues d'épuration

6,2,1 Rendement d'adsorption des substrats sans traitement chimique

Le paillis de cacao permet d'enlever 100 % du plomb, 76 % du cuivre, 57 % du chrome, 24 % d'aluminium et 21 % du cadmium. Environ 93 % du plomb et 20 % du cuivre ont été enlevés par le mélange de copeaux de pin gris et d'épinette. De meilleurs rendements ont été observés pour le chrome et le cuivre à l'aide du paillis de cacao. La mousse de tourbe présente de meilleurs rendements d'adsorption en présence du lixiviat de boues d'épuration comparativement au lixiviat synthétique pour l'aluminium, le cadmium, le chrome, le cuivre et le zinc. L'augmentation des rendements d'adsorption s'explique par la faible teneur en métaux dans le lixiviat de boues d'épuration. En effet, il y a peut être moins de métaux pour le nombre de sites disponibles pour réaliser l'adsorption. L'augmentation des rendements d'adsorption de certains métaux a été observée pour chacun des adsorbants. Cette tendance n'a pas été observée pour les copeaux de pin gris et d'épinette pour l'aluminium, le nickel et

l'aluminium, le nickel et le zinc et dans le cas du paillis de cacao, de meilleurs rendements d'enlèvement ont été obtenus à partir du lixiviat synthétique pour le fer, le manganèse et le nickel.

6,2,2 Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement acide

Contrairement aux essais d'adsorption réalisés à partir du lixiviat synthétique, le traitement acide n'augmente pas de façon significative les rendements d'adsorption. Il a été démontré que les rendements d'adsorption avec les adsorbants traités en milieu acide augmentent pour plusieurs métaux au contact de la solution synthétique (Tableau 7) et ce, par rapport aux adsorbants non traités. Toutefois, cette augmentation n'a pas été observée en ce qui concerne le lixiviat de boues d'épuration.

6,2,3 Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement phosphate

Le traitement au phosphate n'a pas permis de hausser les rendements d'adsorption des métaux sur les copeaux de pin gris et d'épinette. D'autre part, ce traitement a augmenté le rendement d'adsorption de l'aluminium sur le paillis de cacao. En effet, le rendement d'adsorption de l'aluminium a augmenté de 24 % à 40 % lorsque ce traitement est appliqué. Un effet positif de ce traitement sur l'adsorption de l'aluminium a aussi été mesuré dans le cas du paillis de cèdres. Toutefois, l'augmentation mesurée n'était que de 5 %. Les rendements d'adsorption ont aussi augmenté de façon significative avec la mousse de tourbe pour l'aluminium, le chrome, le cuivre et le plomb.

7 RÉSULTAT ET DISCUSSION CONCERNANT LE LIXIVIAT D'UN SOL CONTAMINÉ

Cette section de chapitre regroupe les résultats d'adsorption obtenus à partir d'un sol contaminé en divers métaux. Le sol a été fourni par le Centre de recherche minérale (Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec). Le site d'échantillonnage est inconnu, mais il provient de la ville de Montréal. Le sol a été lixivié en milieu acide (HCl) afin de solubiliser certains métaux. Les essais d'adsorption ont été effectués à partir du lixiviat de pH 2.0 obtenu après séparation de la fraction solide.

7,1 Caractérisation du lixiviat du sol contaminé

Une digestion totale du sol contaminé a été effectuée en utilisant de l'acide nitrique, chlorhydrique, perchlorique et fluorhydrique selon la même méthode que la digestion totale des adsorbants. Les Tableaux 16 et 17 montrent les contenus en métaux dans le sol contaminé, ainsi que dans le lixiviat utilisé pour la présente étude.

Tableau 16 Contenu en métaux du sol contaminé après digestion totale

Métaux	Sol CRM (mg/g)
Al	13,31
Ca	1,02
Cd	< 0,10
Cr	< 0,10
Cu	1,05
Fe	9,27
Mg	1,88
Mn	0,64
Na	6,31
Ni	< 0,10
Pb	0,88
Zn	0,97

Tableau 17 Concentration en métaux dans le lixiviat

Métaux	Concentration (mg/L)
Al	22,9
Ca	19,7
Cd	0,20
Cr	< 0,10
Cu	7,50
Fe	6,20
Mg	42,4
Mn	13,7
Na	35,4
Ni	0,30
Pb	7,50
Zn	24,9

7,2 Rendement d'adsorption

Les Figures 31 à 33 présentent les rendements d'adsorption moyens après 24 h (section 4,4) en contact avec le lixiviat du sol contaminé. Les barres d'erreurs présentent l'écart type sur la moyenne (triplicata). Les résultats concernant le rendement d'adsorption pour chacun des métaux et des adsorbants ainsi que les résultats du test paramétrique de Student (section 4,8,2) sont présentés à l'Appendice F.

À de basses concentrations en métaux, il est plus facile d'enlever les métaux puisqu'il y a moins de métaux pour le nombre de sites disponibles. Tout comme dans le cas du lixiviat de

boues d'épuration, le traitement acide n'augmente pas les capacités d'adsorption lorsque les essais sont effectués sur le lixiviat du sol contaminé. Le traitement phosphate quant à lui augmente les rendements d'adsorption de plusieurs métaux, notamment dans le cas de la mousse de tourbe et des écaïlles de cacao.

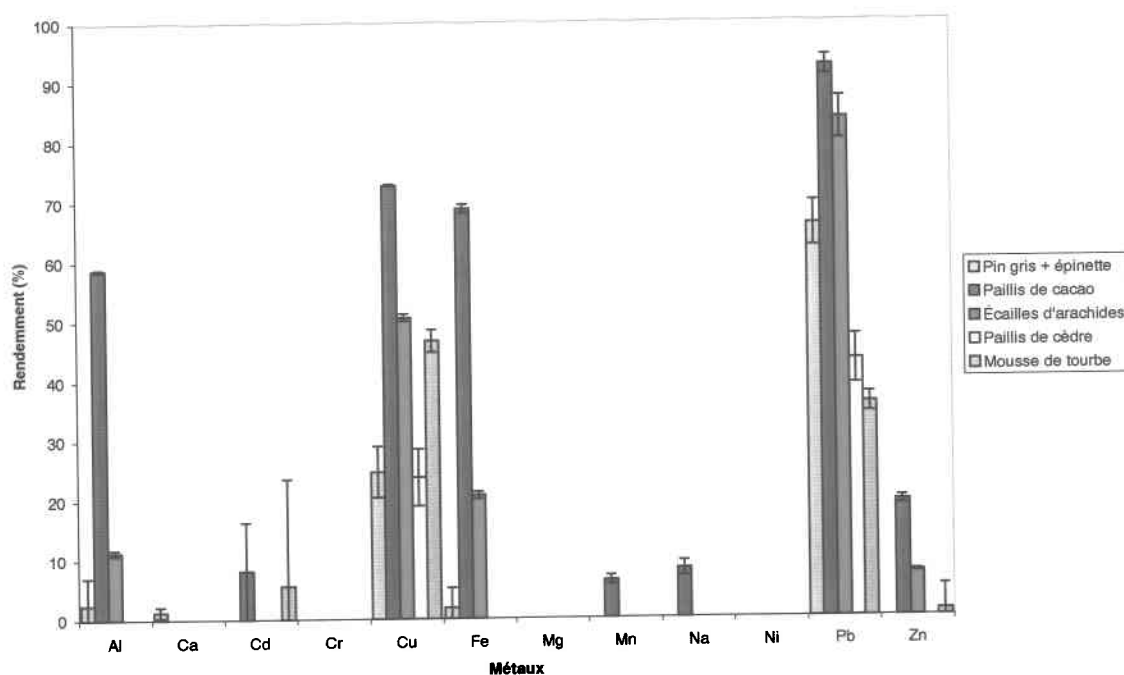


Figure 31 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants non-traités après 24 h de contact avec le lixiviat d'un sol contaminé

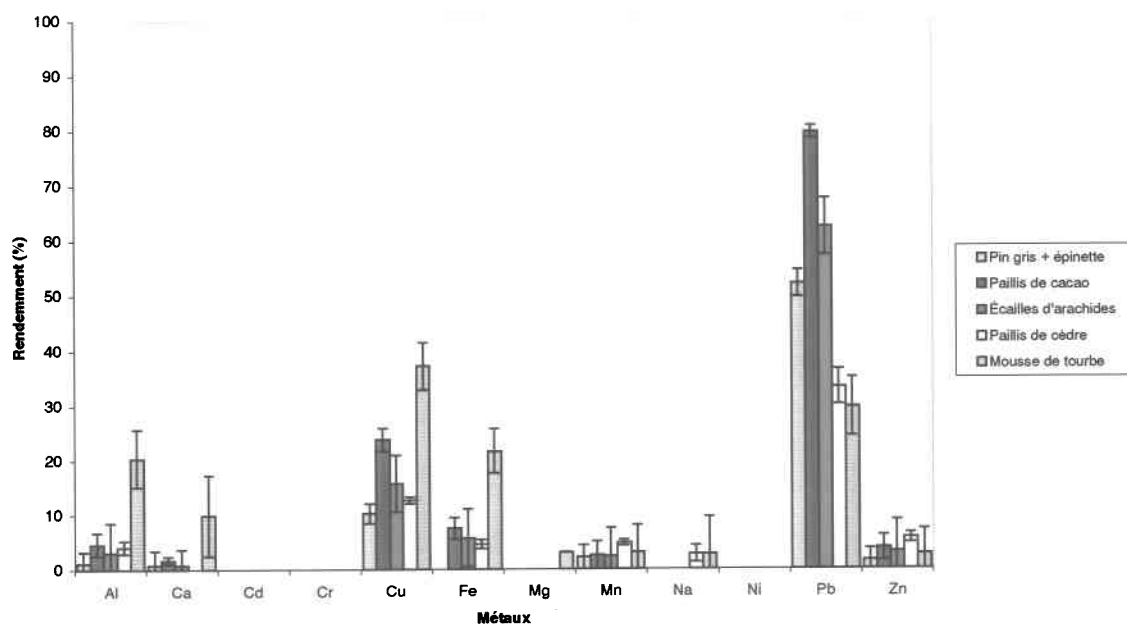


Figure 32 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants traités en milieu acide après 24 h de contact avec le lixiviat d'un sol contaminé

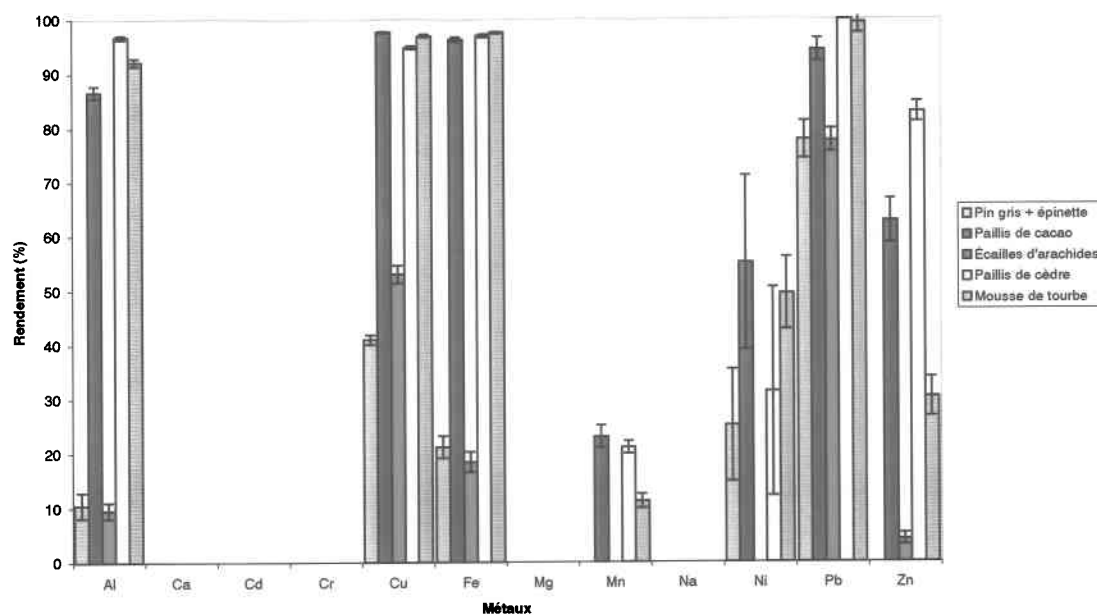


Figure 33 Rendement moyen d'adsorption sur les adsorbants ayant subi un traitement phosphate après 24 h de contact avec le lixiviat d'un sol contaminé

7,2,1 Rendement d'adsorption des substrats sans traitement chimique

De faibles rendements d'adsorption des métaux ont été observés pour le mélange pin gris et d'épinette. Des rendements d'enlèvement de 66 % du plomb et 25 % du cuivre ont été mesurés à partir du lixiviat provenant d'un sol contaminé. Le paillis de cacao a permis d'enlever 93 % du plomb, 73 % du cuivre, 69 % du fer, 59 % d'aluminium et 19 % de zinc. Les écailles d'arachides ont enlevé 84 % du plomb, 51 % du cuivre et 21 % du fer. Des rendements inférieurs ont été obtenus pour le paillis de cèdre et la mousse de tourbe.

7,2,2 Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement acide

Le Tableau 18 présente pour chacun des adsorbants traités en milieu acide et chacun des métaux, l'augmentation significative (test de Student) de la moyenne des rendements d'adsorption (triplicata) en contact avec le lixiviat provenant d'un sol contaminé et ce, par rapport aux résultats obtenus avec les adsorbants non traités.

Le traitement acide a diminué les rendements d'adsorption de la plupart des métaux dans le cas du mélange de pin gris et d'épinette. La même tendance a été observée pour le paillis de cacao et les écailles d'arachides. Les rendements d'adsorption ont toutefois augmenté significativement pour le paillis de cèdre dans le cas de l'aluminium, du fer, du manganèse et du zinc. Cependant, l'augmentation du rendement n'a été d'environ que de 5 %. Le traitement acide a augmenté les rendements d'enlèvement pour l'aluminium, le fer et le magnésium lors des essais d'adsorption avec la mousse de tourbe.

Tableau 18 Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement acide est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat d'un sol contaminé)

	Copeaux de pin gris et épinette	Paillis de cacao	Écailles d'arachides	Paillis de cèdre	Mousse de tourbe
Al				✓	✓
Ca		✓			
Cd					
Cr					
Cu					
Fe				✓	✓
Mg					
Mn					
Na	✓				
Ni					
Pb					
Zn				✓	

7,2,3 Rendement d'adsorption des substrats ayant subi un traitement phosphate

Le Tableau 19 présente pour chacun des adsorbants traités au phosphate et chacun des métaux, l'augmentation significative (test de Student) de la moyenne des rendements d'adsorption (triplicata) en contact avec le lixiviat provenant d'un sol contaminé et ce, par rapport aux résultats obtenus avec les adsorbants non traités.

Le traitement au phosphate a permis de hausser les rendements d'adsorption des copeaux de pin gris et d'épinette pour l'aluminium, le cuivre, le fer, le nickel et le plomb. D'excellents rendements ont été mesurés pour le fer (96 %), le plomb (94 %), le cuivre (98 %) et l'aluminium (87 %). Les autres métaux ont été moins bien adsorbés : zinc (63 %), nickel (55 %) et manganèse (23 %). Le traitement au phosphate n'a toutefois pas amélioré les

rendements d'adsorption avec les écailles d'arachides. La mousse de tourbe et le paillis de cèdre ont montré des rendements supérieurs à 90 % pour l'aluminium, le cuivre, le fer et le plomb. Il est intéressant de souligner que le paillis de cèdre a enlevé près de 83 % de zinc du lixiviat de sol contaminé.

Tableau 19 Augmentation significative de la moyenne (test de Student) lorsqu'un traitement phosphate est appliqué par rapport aux adsorbants sans traitement (lixiviat d'un sol contaminé)

	Copeaux de pin gris et épinette	Paillis de cacao	Écailles d'arachides	Paillis de cèdre	Mousse de tourbe
Al	✓	✓		✓	✓
Ca					
Cd					
Cr					
Cu	✓	✓		✓	✓
Fe	✓	✓		✓	✓
Mg					
Mn		✓		✓	✓
Na					
Ni	✓	✓			✓
Pb	✓			✓	✓
Zn		✓		✓	✓

8 MORPHOLOGIE DU PAILLIS DE CACAO

Ce chapitre traite de la morphologie des écailles de cacao. Jusqu'à maintenant, aucun travail dans la littérature n'a fait mention de ce type de substrat comme adsorbant pour enlever les métaux. Des images obtenues à partir d'un microscope électronique à balayage (MEB) sont donc présentées dans ce chapitre afin de caractériser davantage les écailles de cacao.

8,1 Microscopie électronique

Les images sont obtenues en mode électrons rétrodiffusés (BSE) et elles représentent un contraste relatif à la masse des éléments atteints par le faisceau incident. Plus l'image est claire, plus la zone analysée est dense. En conséquence, les zones ayant des concentrations élevées d'atomes lourds seront donc plus claires. La Figure 34 montre le caractère hétérogène de la forme et de la taille des différentes particules. Les Figures 35 et 36 représentent en détail la structure amorphe carbonée des écailles de cacao. On remarque notamment la présence de structures en formes d'hélice. Des sections de canaux sont aussi observées sur les micrographies.

À l'aide de l'appareil, il est aussi possible de faire l'analyse semi-quantitative de certains métaux par les rayons-X. Des micrographies ont été prises sur les écailles de cacao ayant du plomb adsorbé à sa surface afin de vérifier s'il y a une différence de densité. En principe, les images des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé devraient être plus claires que celles n'ayant pas subi l'adsorption avec une solution synthétique de plomb (0,25 mM). Il est toutefois impossible de vérifier si les micrographies des écailles de cacao sont plus denses après l'adsorption avec le Pb(II) puisqu'il n'y a pas suffisamment de plomb adsorbé sur le substrat pour la sensibilité de l'appareil.

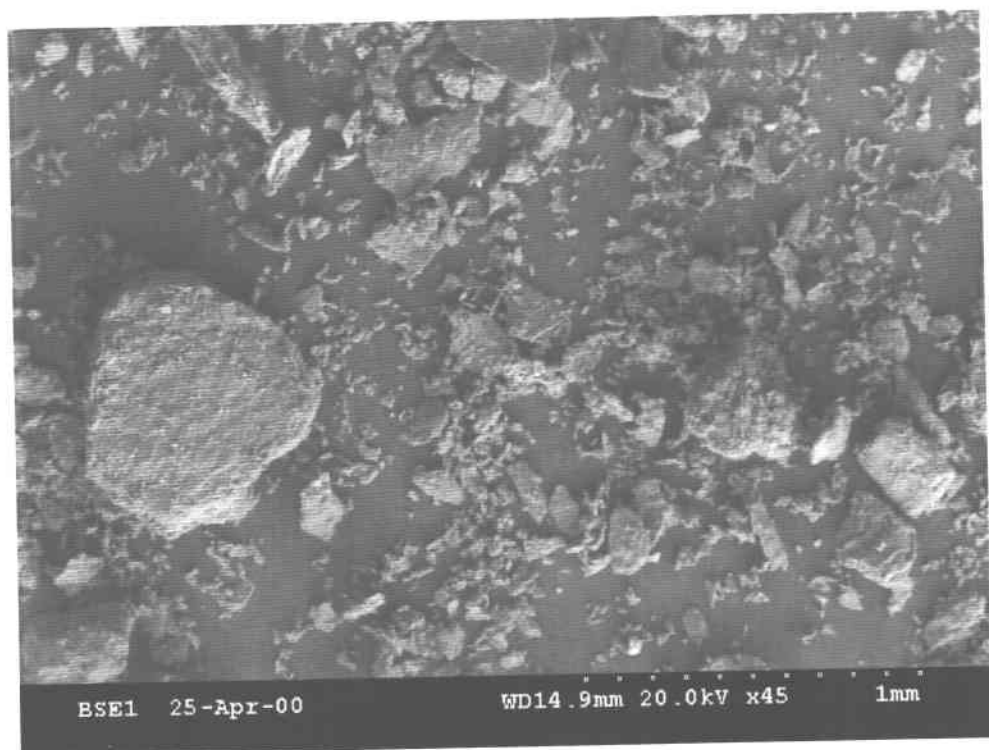


Figure 34 Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao sans traitement chimique (45x)

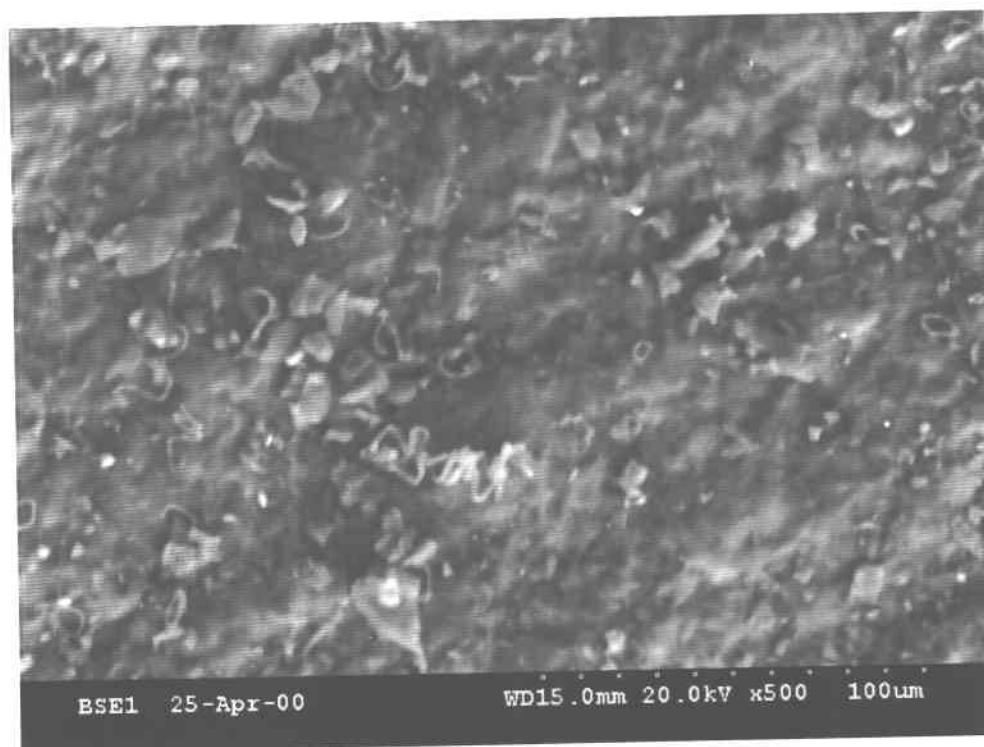


Figure 35 Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao sans traitement (500x)

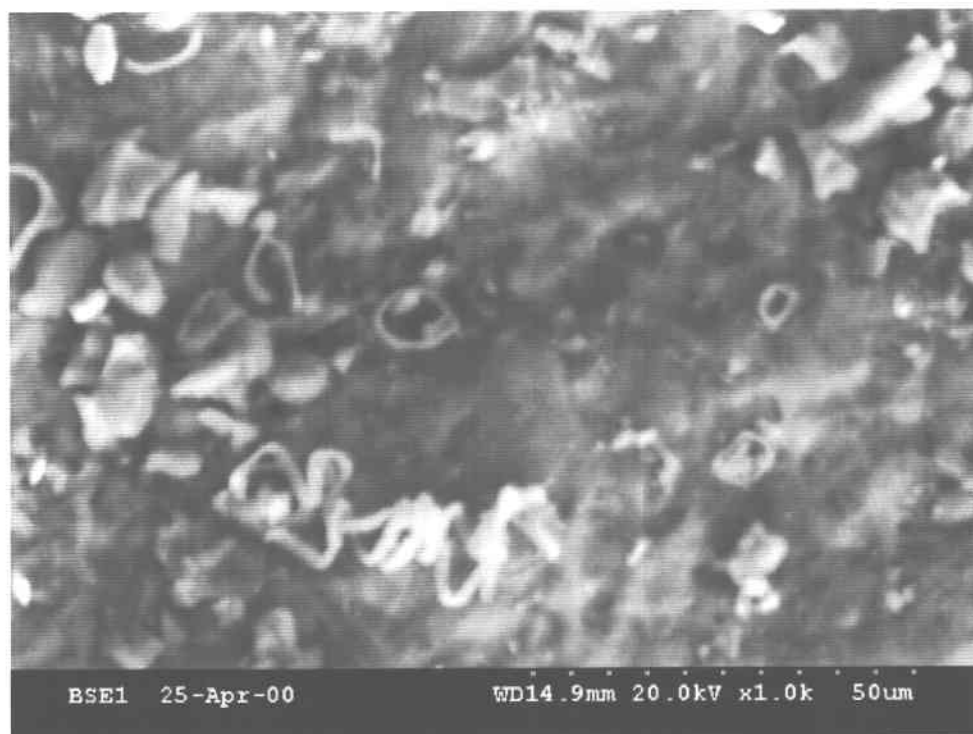


Figure 36 Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao sans traitement chimique (1000x)

Les Figures 37, 38 et 39 représentent les écailles de cacao ayant du plomb adsorbé. Il n'y aucune différence majeure entre ces images et les Figures 34 à 36.

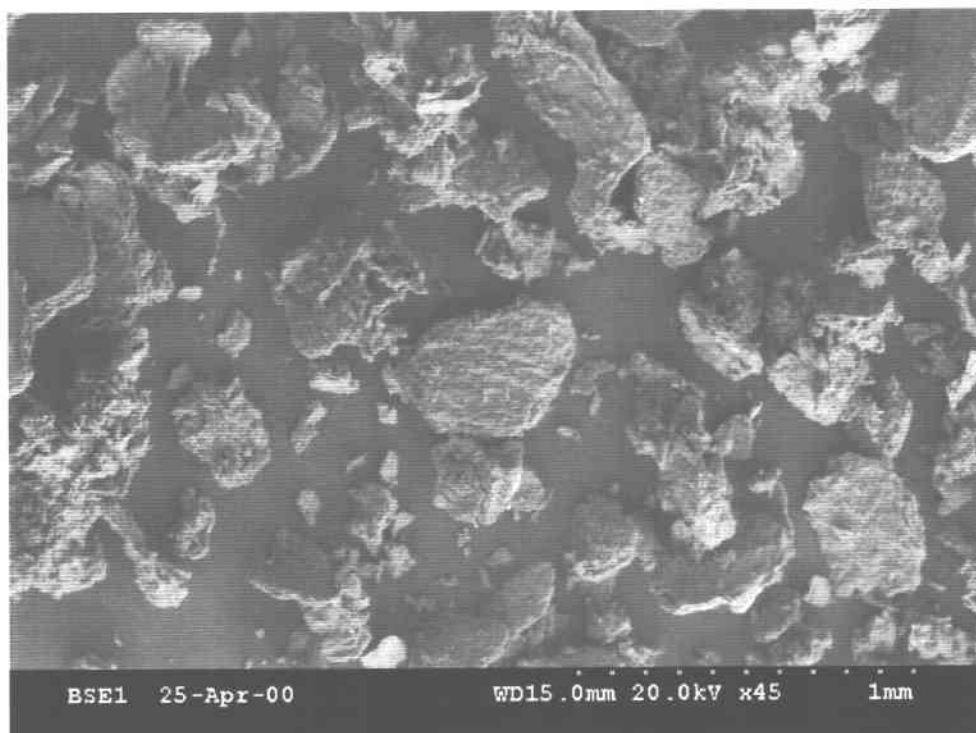


Figure 37 Images en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (45x)

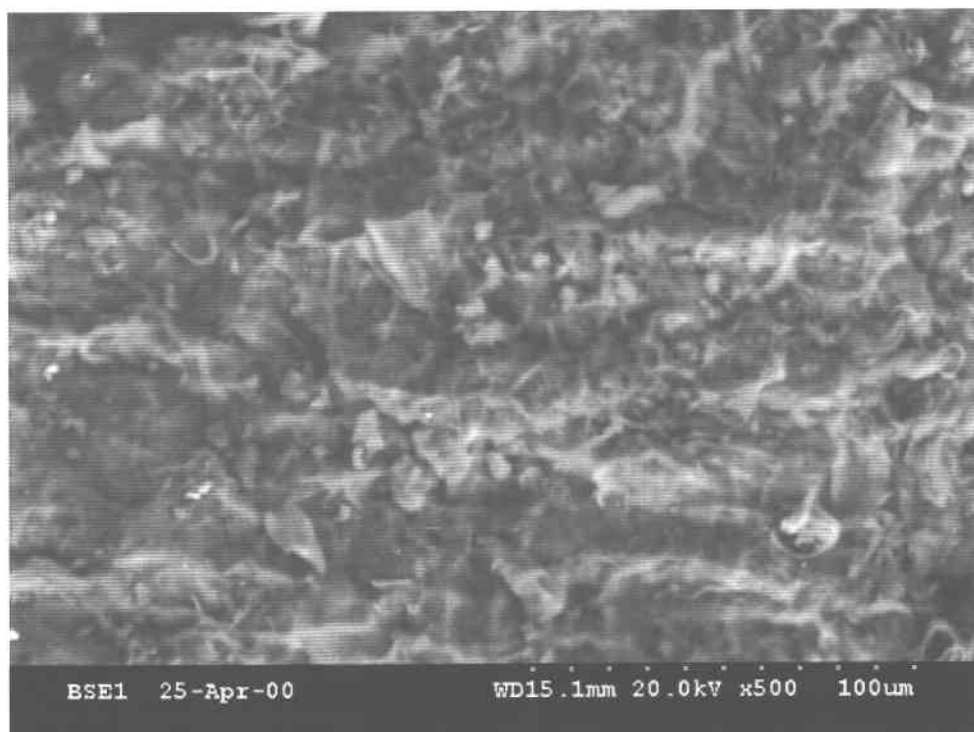


Figure 38 Images en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (500x)



Figure 39 Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (1000x)

À la Figure 39, on remarque une zone ayant une densité élevée, après avoir fait l'analyse semi-quantitative de la zone blanche, il s'est avéré que le grain blanc est un silicate. La Figure 40 représente les hélices que l'on peut observer dans la structure des écailles de cacao à un fort grossissement.



Figure 40 Image en électrons rétrodiffusés des écailles de cacao ayant du plomb adsorbé (1800x)

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les métaux lourds sont introduits dans l'environnement d'une part par les activités humaines et de l'autre naturellement par l'activité géologique et biologique. Les activités humaines ont un grand impact sur l'environnement, c'est pourquoi depuis plusieurs années les gouvernements imposent aux industries des normes strictes à respecter. L'élimination des métaux par les biomasses végétales étudiées met en évidence la capacité d'adsorption de ces matériaux peu coûteux pour l'enlèvement des métaux potentiellement toxiques des effluents. La possibilité d'adsorber des contaminants métalliques a été démontrée dans la littérature pour plusieurs types de substrats.

Les essais effectués à partir du lixiviat synthétique ont permis de vérifier qu'il est possible de réaliser l'adsorption de certains métaux à partir des biomasses végétales étudiées. Il a été démontré que le plomb adsorbé sur les écailles de cacao, la mousse de tourbe, les écailles d'arachides et les copeaux de cèdre suit des isothermes à pH 2. La capacité de fixation des métaux peut être augmentée appréciablement par certains traitements chimiques. Parmi tous les traitements chimiques étudiés, le traitement à l'hydrogénophosphate de sodium améliore considérablement les capacités d'adsorption de la mousse de tourbe.

L'adsorption à partir de biomasses végétales permet l'enlèvement de certains métaux à des pH acides. Les écailles de cacao constituent le substrat le plus efficace pour enlever le plomb. Il est aussi possible de régénérer les écailles de cacao à partir d'un lixiviat synthétique. Lorsqu'on effectue la régénération des écailles de cacao, le rendement d'adsorption diminue pour plusieurs métaux, mais ne diminue pas pour le plomb. Les différents traitements chimiques appliqués aux écailles de cacao n'améliorent pas de façon significative les rendements d'adsorption pour le plomb. Il devient donc inutile d'effectuer un traitement chimique sur ce substrat pour enlever le plomb, puisqu'il est naturellement déjà très efficace sans aucun traitement. Les écailles de cacao constituent un substrat prometteur pour enlever le plomb dans certains effluents. Cet adsorbant permet l'enlèvement de plus de 90 % du plomb (concentration initiale 50 mg/L) comparativement au charbon actif qui n'enlève que 4 % du plomb dans les mêmes conditions expérimentales.

Il a été aussi démontré à partir du lixiviat synthétique qu'on peut augmenter la sélectivité du plomb par ce substrat en effectuant plusieurs cycles de sorption/désorption sur le même substrat. L'application d'une telle technologie permettrait de concentrer les métaux dans un petit volume en effectuant des éluions successives diminuant ainsi les coûts de disposition des métaux. La combustion de l'adsorbant après son utilisation est une autre méthode pouvant être appliquée pour concentrer les métaux récupérés des lixiviats.

L'élimination des métaux dans les effluents industriels peut être effectuée par diverses techniques. L'adsorption a été largement étudiée et ce, principalement en utilisant du charbon activé. Plus récemment, diverses biomasses, telles que les sciures et les écorces de bois, ont aussi été étudiées pour éliminer les métaux dans les effluents. Toutefois, actuellement très peu d'industries ont recours à des biomasses pour l'élimination des métaux dans leurs rejets. Pour intéresser les industries à utiliser de tels procédés, les recherches doivent s'orienter vers la mise au point de procédés économiquement viables et compétitifs par rapport aux technologies conventionnelles. À cet effet, les déchets forestiers ou autres substrats, lesquels sont produits en grande quantité dans plusieurs pays (FAO, 1998), constituent une ressource facilement disponible et peu dispendieuse.

Les prochains travaux de recherche dans ce domaine devraient être axés vers le développement de nouveaux traitements chimiques efficaces et peu dispendieux à appliquer sur les déchets pour ainsi en augmenter leur capacité d'adsorption. Il serait aussi souhaitable de tenter de développer des procédés d'adsorption ne nécessitant pas, au préalable, un ajustement du pH des effluents industriels. Cette démarche permettrait ainsi de réduire les coûts en produits chimiques associés à la neutralisation du pH des effluents industriels.

Les capacités adsorbantes des végétaux peuvent aussi être mises à profit dans le cadre du développement de technologies de décontamination de sites ou de rejets industriels ou urbains pollués par des métaux potentiellement toxiques. Par exemple, il pourrait être intéressant d'utiliser certains adsorbants dans des bioréacteurs lors du traitement des eaux usées permettant ainsi d'éliminer les métaux. Finalement, l'élaboration de technologies utilisant des biomasses végétales est une avenue économiquement intéressante et permet aussi d'accorder une valeur intéressante à ce type de substrat considéré très souvent comme un déchet.

BIBLIOGRAPHIE

- Ajmal M., Khan A.H., Ahmad S. et Ahmad A. (1998) Role of sawdust in the removal of copper (II) from industrial wastes. *Wat. Res.* 32(10), 3085-3091.
- Ajmal M., Rao R.A.K. et Siddiqui B.A. (1996) Studies on removal and recovery of Cr(VI) from electroplating wastes. *Wat. Res.* 30(6), 1478-1482.
- Al-Asheh S. et Duvnjak Z. (1995) Adsorption of copper and chromium by *Aspergillus carbonarius*. *Biotechnol. Prog.* 11. 638-642.
- Al-Asheh S. et Duvnjak Z. (1996) Biosorption of chromium by canola meal. *Wat. Qual. Res. J. Can.* 31(2), 319-328.
- Al-Asheh S. et Duvnjak Z. (1998) Binary metal sorption by pine bark: Study of equilibria and mechanisms. *Sep. Sci. Technol.* 33(9), 1303-1329.
- Al-Asheh S. et Duvnjak Z. (1999) Sorption of heavy metals from synthetic metal solutions and industrial wastewater using plant materials. *Wat. Qual. Res. J. Can.* 34(3), 481-503.
- Al-Asheh S., Lamarche G. et Duvnjak Z. (1998) Investigation of copper sorption using plant materials. *Wat. Qual. Res. J. Can.* 33(1), 167-183.
- Amiot, E. (1990) *Introduction aux probabilités et à la statistique*. Gaëtan Morin éditeur, Québec, Canada, 478 p.
- Arulanantham A., Balasubramanian N. et Ramakrishna T.V. (1989) Coconut shell carbon for treatment of cadmium and lead containing wastewater. *Metal Finishing*, 51-55.
- Aval G.M. (1991) Removal of lead and copper ions from wastewater by sawdust. *Iran J. Chem. & Chem. Eng.* 10(2), 21-23.

- Balistrieri L.S. et Murray J.W. (1982) The adsorption of Cu, Pb, Zn and Cd on goethite from major ion seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1253-1265.
- Barrow N.J., Bowden J.W., Posner A.M. et Quirk J.P. (1981) Describing the adsorption of copper, zinc and lead on a variable charge mineral surface. *Aust. J. Soil Res.* 19, 309-321.
- Bel'kevich P.I., Gaiduk K.A. et Chistova L.R. (1972) New trends in the utilisation of peat. *Russian J. Phys. Chem.* 46(12), 1716-1722.
- Benjamin M.M et Leckie J.O. (1981) Multiple-site adsorption of Cd, Cu, Zn, and Pb on amorphous iron oxyhydroxide. *J. Colloid Inter. Sci.* 79, 209-221.
- Bhargava D.S., Gupta M.S. et Varshney B.S. (1987) Use of sawdust for the adsorption of heavy metals. *Asian Environment* 9(4), 29-37.
- Bhattacharya A.K. et Venkobachar C. (1984) Removal of cadmium(II) by low cost adsorbents. *J. Env. Eng. Div. ASCE* 110(1), 110-122.
- Bloom P.R. et McBride M.B. (1979) Metal ion binding and exchange with hydrogen ions in acid-washed peat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 687-692.
- Bosinco S., Roussy J., Guibal E. et LeCloirec P. (1996) Interaction mechanisms between hexavalent chromium and corn cob. *Environ. Technol.* 17, 55-62.
- Bryant P.S., Petersen J.N., Lee J.M. et Brouns T.M. (1992) Sorption of heavy metals by untreated red fir sawdust. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 34/35, 777-788.
- Butler J.A.V. et Ockrent C. (1930) The surface tensions of solutions containing two surface-active solutes *J. Phys. Chem.*, 34, 2841-2859.
- Chan W.H., Lam-Leung S.Y., Cheng K.W. et Yip Y.C. (1992) Synthesis and characterization of iminodiacetic acid-cellulose sorbent and its analytical and environmental applications in metal ion extraction. *Anal. Lett.* 25(2), 305-320.

- Chaney R.L. et Hundemann P.T. (1979) Use of peat moss columns to remove cadmium from wastewaters. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 51(1), 17-21.
- Chatterjee S., Asthana R.K., Tripathi A.K. et Singh S.P. (1996) Metal removal by selected sorbents. *Proc. Biochem.* 31(5), 457-462.
- Clandinin D.R. (1986) *Canola meal for livestock and poultry*. Canola Council of Canada, Winnipeg, Manitoba, p. 1-19.
- Couillard D. (1992) Appropriate waste water management technologies using peat. *J. Environ. Syst.* 21(1), 1-19.
- Couillard D. (1994) Review The use of peat in wastewater treatment. *Wat. Res.* 28(6), 1261-1274.
- Coupal B. et Lalancette J.M. (1976) The treatment of waste waters with peat moss. *Wat. Res.* 10, 1071-1076.
- D'Avila J.S., Matos C.M. et Cavalcanti M.R. (1992) Heavy metals removal from wastewater by using activated peat. *Wat. Sci. Technol.* 26(9-11), 2309-2312.
- Davies J.A. et Leckie J.O. (1978) Surface ionization and complexation at the oxide/water interface. II. Surface properties of amorphous iron oxyhydroxide and adsorption of metal ions. *J. Colloid Inter. Sci.* 67, 90-107.
- Dissanayake C.B. et Weerasooriya S.V.R. (1981) Peat as metal-trapping material in the purification of industrial effluents. *Intern. J. Environmental Studies* 17, 233-238.
- Dronnet V.M., Renard C.M.G.C., Axelos M.A.V. et Thibault J.F. (1997) Binding of divalent metal cations by sugar-beet pulp. *Carbohydrate Polymers* 34, 73-82.
- EPRI (Electric Power Research Institute) (1987) Inorganic and organic constituents in fossil fuel combustion residues Volume 1 : a critical review. EA-5174, volume 1. EPRI, Palo Alto, CA, USA. pp. Pb1-Pb10.

- Espinola A., Adamian R. et Gomes L.M.B. (1998) Coconut shell in removal of cadmium ions from industrial effluents. Dans : « *EPD Congress 1998* », B. Mishra (éditeur), The Minerals, Metals & Materials Society, San Antonio, Texas, February 16-19, pp. 39-46.
- FAO (Food and agriculture organization of the united nations) (1998) *Annuaire des produits forestiers, 1992-1996*. Collection FAO forêts, 31, Rome.
- Faust S.D. et Aly O.M (1999) *Chemistry of water treatment*. Lewis, 2^e édition, Floride, États-Unis, 579 p.
- Forbes E.A., Posner A.M. et Quirk J.P. (1976) The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb, and Zn on goethite. *J. Soil Sci.* 27, 154-166.
- Fujii M., Shioya S.I. et Ito A. (1988) Chemically modified coniferous wood barks as scavengers of uranium from sea water. *Holzforschung*. 42, 295-298.
- Gaballah I. et Kilbertus G.(1995) Elimination of As, Hg, and Zn from synthetic solutions and industrial effluents using modified bark, Dans « Separation Processes ». The Minerals, Metals & Materials Society, M. Misra (éditeur), Pennsylvanie, pp. 15-26.
- Gaballah I., Goy D., Allain E., Kilbertus G. et Thauront J. (1994) A new process for the decontamination of industrial effluent containing cadmium cations. Dans « *EDP Congress 1994* », The Minerals, Metals & Materials Society, Pennsylvanie, pp. 43-52.
- Gaballah I., Goy D., Allain E., Kilbertus G. et Thauront J. (1997) Recovery of copper through decontamination of synthetic solutions using modified barks. *Metallurgical Materials Trans.* 28B, 13-23.
- Gadde R.R. et Laitinen H.A. (1973) Study of the sorption of lead by hydrous ferric oxide. *Environ. Lett.* 5, 223-235.

- Gharaibeh S.H., Abu-el-sha'r W. et Al-Kofahi M.M. (1998) Removal of selected heavy metals from aqueous solutions using processed solid residue of olive mill products. *Wat. Res.* 32(2), 498-502.
- Gosset T., Trancart J.L. et Thévenot D.R. (1986) Batch metal removal by peat. *Wat. Res.* 20(1), 21-26.
- Gupta V.K., Mohan D. et Sharma S. (1998) Removal of lead from wastewater using bagasse fly ash - A sugar industry waste material. *Sep. Sci. Technol.* 33(9), 1331-1343.
- Guthrie J.D. (1952) Ion exchange cottons. *Ind. Eng. Chem.* 44, 2187-2189.
- Henderson R.W. Andrews D.S. Lightsey G.R. et Poonawala N.A. (1977) Reduction of mercury, copper, nickel, cadmium, and zinc levels in solution by competitive adsorption onto peanut hulls, and raw and aged bark. *Bull. Envir. Contam. Toxic.* 17(3), 355-359.
- Hensley J.W. (1951) Adsorption of tagged phosphate ions on glass surfaces as related to alkaline attack. *J. Am. Ceram. Soc.* 34, 188-192.
- Ho Y.S. et McKay G. (1999) The sorption of lead(II) ions on peat. *Wat. Res.* 33(2), 578-584.
- Hohl H. et Stumm W. (1976) Interaction of Pb^{2+} with hydrous $\gamma-Al_2O_3$. *J. Colloid Inter. Sci.* 55, 281-288.
- Holan Z.R. et Volesky B. (1995) Accumulation of cadmium, lead, and nickel by fungal and wood biosorbents. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 53, 133-146.
- Huang C.P. et D.W. Blankenship (1984) The removal of mercury (II) from dilute aqueous solution by activated carbon. *Wat. Res.* 18(1), 37-46.
- Khangan V.W., Banker D.B. et Dara S.S. (1992). Effectiveness of Terminalia Bellirica bark for scavenging zinc ions. *Chem. Environ. Res.*, 1(1), 87-94.

- Kumar P. et Dara S.S. (1980a) Modified barks for scavenging toxic heavy metal ions. *Indian J. Environ. Health.* 22(3), 196-202.
- Kumar P. et Dara S.S. (1980b) Removal of toxic heavy metal ions from wastewaters using modified agricultural waste materials. *Prog. Wat. Technol.* 13, 353-361.
- Kumar P. et Dara S.S. (1982) Utilisation of agricultural wastes for decontaminating industrial/domestic wastewaters from toxic metals. *Agricultural Wastes* 4, 213-223.
- Kuyucak N. et Volesky B. (1988) Biosorbents for recovery of metals from industrial solution. *Biotechnol. Lett.* 10(2), 137-142
- Macchi G., Marani D. et Tiravanti G. (1986) Uptake of mercury by exhausted coffee grounds. *Environ. Technol. Lett.* 7, 431-444.
- Marshall W.E., Champagne E.T. et Evans W.J. (1993) Use of rice milling byproducts (hulls & bran) to remove metal ions from aqueous solution. *J. Environ. Sci. Health A28(9)*, 1977-1992.
- Masri M.S. et Friedman M. (1974) Effect of chemical modification of wool on metal ion binding. *J. Appl. Polymer Sci.* 18, 2367-2377.
- McKenzie R.M. (1980) The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Aust. J. Soil Res.* 18, 61-73.
- Moore P.D. et Bellamy D.J. (1974) *Peatlands*, Springer-Verlag, p. 187. New York.
- Morita M., Higuchi M. et Sakata I. (1987) Binding of heavy metal ions by chemically modified woods. *J. Appl. Polymer Sci.* 34, 1013-1023.
- Okieimen F.E., Okundia E.U. et Ogbeifun D.E. (1990) Sorption of cadmium and lead ions on modified groundnut (*Arachis hypogaea*) husks. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 51, 97-103.
- Orhan Y. et Buyukgungor H. (1993) The removal of heavy metals by using agricultural wastes. *Wat. Sci. Technol.* 28(2), 247-255.

- Quek S.Y., Al-Duri B., Wase D.A.J. et Forster C.F. (1998) Coir as a biosorbent of copper and lead. *Trans Inst. Chem. Eng.* 76B, 50-54.
- Randall J.M.(1977) Variations in effectiveness of barks as scavengers for heavy metal ions. *For. Prod. J.* 27(11), 51-56.
- Randall J.M., Bermann, R.L., V. Garret et Waiss A.C. (1974a) Use of bark to remove heavy metal ions. *For. Prod. J.* 24(9), 80-84.
- Randall J.M. et Hautala E. (1975) Removal of heavy metal ions from waste solutions by contact with agricultural byproducts. *Proc. Ind. Waste Conf.* 30, 412-422.
- Randall J.M., Hautala E. et McDonald G. (1978) Binding of heavy metal ions by formaldehyde-polymerized peanut skins. *J. Appl. Polymer Sci.* 22, 379-387.
- Randall J.M., Hautala E., Waiss A.C. et Tschernitz J.L. (1976) Modified barks as scavengers for heavy metal ions. *Forest Prod. J.* 26(8), 46-50.
- Randall J.M., Hautala E. et Waiss A.C. (1974b) Removal and recycling of heavy metal ions from mining and industrial waste streams with agricultural byproducts. *Proceedings of the 4th Mineral Waste Utilisation Symposium*. Chicago, Illinois, may 7-8, pp. 329-334.
- Randall J.M., Reuter F.W. et Waiss A.C. (1975) Removal of cupric ion from solution by contact with peanut skins. *J. Appl. Polymer Sci.* 19, 1563-1571.
- Roberts E.J. et Rowland S.P. (1973) Removal of mercury from aqueous solutions by nitrogen-containing chemically modified cotton. *Environ. Sci. Technol.* 7(6), 552-555.
- Sharma D.C. et Forster C.F. (1993) Removal of hexavalent chromium using *Sphagnum* moss peat. *Wat. Res.* 27(7), 1201-1208.

- Schindler P.W., Furst B., Dick R. et Wolf P.V. (1976) Ligand properties of surface silanol groups. Surface complex formation with Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , and Pb^{2+} . *J. Colloid Inter. Sci.* 55, 469-475.
- Shukla N. et Pandey G.S. (1990) Charred waste of oxalic plant as an adsorbent of toxic ions and dyes. *Biol. Wastes.* 32, 145-148.
- Shukla S.R. et Sakhardande V.D. (1990) Cupric ion removal by dyed cellulosic materials. *J. Appl. Polymer Sci.* 41, 2655-2663.
- Shukla S.R. et Sakhardande V.D., 1991. Novel method of using reactive dyes for effluent treatment. *Am. Dyest Rep.* 80, 38-42.
- Singh D.K., Saksena D.N. et Tiwari D.P. (1994) Removal of chromium(VI) from aqueous solutions. *Indian J. Environ Health.* 36(4), 272-277.
- Smith E.F., MacCarthy P., Yu T.C. et Mark H.B.Jr. (1977) Sulfuric acid treatment of peat for cation exchange. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* April, 633-638.
- Smith E.F., Mark H.B.Jr. and MacCarthy P. (1978) Chemically modified peat as an economical means of water treatment. *Toxicol. Environ. Chem. Rev.* 2, 237-256.
- Statistiques Canada. (1993) Cereal and oilseeds review. Catalog 22-007, 16 (1) Ottawa.
- Stumm W. et Morgan J.J. (1996) The solid-solution interface. Dans : « *Aquatic chemistry chemical equilibria and rates in natural waters* », Wiley interscience, J.L. Schnoor et A. Zehnder (éditeurs), New York, pp. 519-526.
- Stumm W., Hohl H. et Dalang F. (1976) Interaction of metal ions with hydrous oxide surfaces. *Croat. Chim. Acta*, 48, 491-504.
- Tan T.C., Chia C.K. et Teo C.K. (1985) Uptake of metal ions by chemically treated human hair. *Wat. Res.* 19(2), 157-162.

- Tee T.W. et Khan R.M. (1988) Removal of lead, cadmium and zinc by waste tea leaves. *Environ. Technol. Lett.* 9, 1223-1232.
- Ting Y.P. et Teo W.K. (1994) Uptake of cadmium and zinc by yeast. Effects of co-metal ion and physical chemical treatments. *Bioresource Technol.*, 50, 113-117.
- Tiwari D.P., Singh D.K. et Saksena D.N. (1995) Hg(II) adsorption from aqueous solutions using rice-husk ash. *J. Environ. Eng. Div. ASCE*. 121(6), 479-481.
- Ulmanu M., Segarceanu T., Visiliu C. et Anger I. (1996) Removal of copper from dilute aqueous solutions by adsorbent and ion exchange materials. Dans : « *Ion exchange developments and applications, Proceedings of IEX '96* », Separation Science and Technology Group of Chemical Industry, Churchill College, Royaume-Uni, July 14-19, pp. 151-159.
- Vaishya R.C. et Prasad S.C. (1991) Adsorption of copper (II) on sawdust. *Indian J. Environ. Protection* 11(4), 284-289.
- Vasquez G., Antorrena G., Gonzalez J. et Doval M.D.(1994) Adsorption of heavy metal ions by chemically modified *Pinus pinaster* bark. *Bioresource Technol.* 48, 251-255.
- Wing R.E., Swanson C.L., Doane W.M. et Russell C.R. (1974) Heavy metal removal with starch xanthate-cationic polymer complex. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 46(8), 2043-2047.
- Young R.N., McDonald G. et Randall J.M. (1979) Effect of light metal ions on the sorption of heavy metal ions on natural polymers. *J. Appl. Polym. Sci.* 23, 1027-1035.

APPENDICE A :

Concentration en métaux dans le filtrat provenant du
lixiviat synthétique, études cinétiques

Paillis de cacao, lixiviat synthétique

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao , sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.5	0.25	0.64	0.24	0.18	0.17	0.21	1.02	0.25	2.10	0.22	0.10	0.23
1	0.22	0.61	0.23	0.19	0.16	0.17	0.98	0.25	2.03	0.22	0.08	0.22
2	0.22	0.63	0.23	0.17	0.17	0.18	1.00	0.25	2.02	0.21	0.07	0.22
4	0.23	0.63	0.23	0.20	0.17	0.17	1.00	0.25	2.18	0.22	0.10	0.23
6	0.22	0.63	0.23	0.19	0.16	0.18	1.01	0.25	2.21	0.22	0.09	0.23
24	0.22	0.63	0.23	0.18	0.16	0.19	1.01	0.25	2.25	0.22	0.09	0.23

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.25
0.5	0.25	0.33	0.24	0.24	0.19	0.18	0.36	0.24	2.55	0.24	0.03	0.23
1	0.25	0.33	0.24	0.24	0.18	0.19	0.36	0.24	2.55	0.24	0.02	0.23
2	0.25	0.33	0.24	0.24	0.18	0.20	0.36	0.24	2.53	0.24	0.02	0.23
4	0.24	0.33	0.24	0.24	0.17	0.21	0.35	0.24	2.62	0.24	0.02	0.23
6	0.24	0.33	0.24	0.23	0.17	0.22	0.35	0.24	2.62	0.24	0.02	0.23
24	0.24	0.33	0.24	0.23	0.17	0.22	0.36	0.24	2.63	0.24	0.01	0.23

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.22	0.55	0.21	0.21	0.12	0.09	0.90	0.23	2.74	0.22	0.02	0.22
1	0.22	0.55	0.21	0.21	0.11	0.10	0.88	0.23	2.85	0.21	0.01	0.21
2	0.22	0.55	0.21	0.20	0.12	0.11	0.87	0.23	2.87	0.21	0.01	0.21
4	0.23	0.55	0.20	0.20	0.12	0.13	0.85	0.22	2.82	0.20	0.01	0.21
6	0.23	0.55	0.20	0.19	0.12	0.14	0.84	0.22	2.84	0.20	0.01	0.20
24	0.24	0.55	0.19	0.17	0.13	0.15	0.78	0.20	3.00	0.19	0.01	0.19

Mousse de tourbe, lixiviat synthétique

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.5	0.22	0.63	0.23	0.21	0.15	0.14	1.30	0.24	2.32	0.21	0.07	0.22
1	0.25	0.59	0.22	0.21	0.18	0.15	1.21	0.23	2.07	0.22	0.06	0.22
2	0.25	0.50	0.23	0.23	0.22	0.18	0.99	0.24	1.85	0.23	0.05	0.23
4	0.24	0.64	0.22	0.21	0.20	0.15	1.36	0.23	2.66	0.22	0.04	0.22
6	0.26	0.64	0.22	0.20	0.20	0.16	1.36	0.23	2.71	0.21	0.03	0.22
24	0.25	0.63	0.23	0.21	0.19	0.13	1.31	0.23	2.54	0.22	0.07	0.22

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.21	0.26	0.23	0.22	0.15	0.11	0.28	0.23	2.77	0.22	0.12	0.23
1	0.20	0.26	0.23	0.22	0.14	0.12	0.28	0.23	2.76	0.22	0.12	0.22
2	0.19	0.26	0.23	0.21	0.14	0.13	0.28	0.23	2.78	0.22	0.12	0.22
4	0.17	0.26	0.23	0.21	0.14	0.14	0.27	0.23	2.89	0.22	0.12	0.22
6	0.17	0.26	0.23	0.20	0.14	0.15	0.27	0.22	2.87	0.21	0.12	0.22
24	0.15	0.25	0.22	0.17	0.14	0.16	0.27	0.22	2.91	0.21	0.12	0.22

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.17	0.49	0.20	0.15	0.08	0.05	0.73	0.22	2.54	0.18	0.06	0.20
1	0.16	0.50	0.20	0.14	0.08	0.05	0.73	0.22	2.64	0.18	0.05	0.20
2	0.15	0.50	0.20	0.14	0.08	0.06	0.73	0.22	2.57	0.18	0.05	0.20
4	0.14	0.51	0.20	0.12	0.08	0.08	0.74	0.22	2.52	0.18	0.05	0.19
6	0.14	0.50	0.20	0.12	0.08	0.09	0.73	0.22	2.41	0.18	0.05	0.19
24	0.15	0.52	0.20	0.07	0.08	0.11	0.75	0.22	2.42	0.19	0.05	0.20

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le pailis de cèdre, sans traitement

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre. traitement phosphate[illegible]

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.25	0.24
0.5	0.24	0.64	0.23	0.22	0.21	0.19	0.19	0.77	0.25	2.45	0.22	0.07	0.23
1	0.25	0.64	0.23	0.22	0.21	0.19	0.19	0.77	0.26	2.41	0.22	0.07	0.23
2	0.27	0.64	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.77	0.25	2.45	0.22	0.06	0.23
4	0.25	0.64	0.23	0.22	0.21	0.18	0.18	0.77	0.26	2.38	0.23	0.06	0.23
6	0.25	0.64	0.23	0.22	0.21	0.18	0.18	0.77	0.25	2.39	0.22	0.06	0.23
24	0.25	0.64	0.23	0.21	0.22	0.19	0.19	0.77	0.25	2.44	0.22	0.05	0.23

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide

[illegible]

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao. traitement phosphate

[illegible]

Paillis de cacao, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.5	0.23	0.64	0.23	0.18	0.13	0.17	1.30	0.24	1.91	0.21	0.09	0.22
1	0.24	0.64	0.24	0.18	0.14	0.19	1.34	0.25	1.85	0.22	0.09	0.23
2	0.23	0.64	0.23	0.12	0.13	0.21	1.30	0.24	1.95	0.21	0.09	0.22
4	0.25	0.64	0.26	0.25	0.25	0.22	0.45	0.28	2.07	0.25	0.13	0.25
6	0.26	0.64	0.25	0.24	0.25	0.22	0.46	0.28	2.11	0.24	0.11	0.25
24	0.25	0.64	0.25	0.24	0.25	0.22	0.46	0.28	2.14	0.24	0.10	0.25

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.5	0.25	0.64	0.24	0.23	0.24	0.21	0.45	0.27	2.07	0.23	0.09	0.24
1	0.26	0.64	0.25	0.24	0.25	0.22	0.46	0.28	2.07	0.24	0.09	0.25
2	0.26	0.64	0.25	0.23	0.27	0.23	0.47	0.28	1.88	0.24	0.08	0.25
4	0.28	0.64	0.24	0.21	0.16	0.18	1.31	0.25	2.23	0.22	0.11	0.22
6	0.27	0.64	0.23	0.19	0.15	0.19	1.29	0.24	2.32	0.21	0.11	0.22
24	0.28	0.64	0.24	0.19	0.15	0.20	1.32	0.24	2.33	0.22	0.11	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.5	0.28	0.64	0.24	0.14	0.15	0.23	1.31	0.24	2.32	0.22	0.11	0.22
1	0.15	0.56	0.20	0.15	0.10	0.09	1.15	0.22	2.18	0.19	0.05	0.20
2	0.16	0.60	0.21	0.16	0.10	0.11	1.23	0.23	2.24	0.20	0.06	0.21
4	0.15	0.60	0.21	0.15	0.09	0.12	1.24	0.23	2.22	0.19	0.06	0.20
6	0.14	0.62	0.21	0.13	0.09	0.13	1.26	0.23	2.20	0.19	0.05	0.21
24	0.14	0.61	0.21	0.12	0.09	0.14	1.26	0.23	2.29	0.19	0.05	0.20

Mousse de tourbe, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.6	0.14	0.62	0.21	0.19	0.09	0.14	1.27	0.23	2.25	0.20	0.05	0.21
1	0.25	0.62	0.23	0.20	0.14	0.13	1.24	0.24	2.29	0.21	0.05	0.22
2	0.24	0.64	0.22	0.21	0.21	0.15	1.36	0.23	2.65	0.22	0.04	0.22
4	0.24	0.64	0.22	0.21	0.19	0.16	1.36	0.23	2.61	0.22	0.03	0.22
6	0.27	0.64	0.22	0.20	0.20	0.17	1.36	0.23	2.64	0.21	0.02	0.22
24	0.23	0.64	0.22	0.21	0.20	0.12	1.36	0.23	2.67	0.22	0.05	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.6	0.24	0.64	0.23	0.22	0.20	0.13	1.36	0.24	2.63	0.23	0.04	0.23
1	0.23	0.64	0.21	0.21	0.19	0.13	1.37	0.22	2.57	0.21	0.04	0.21
2	0.24	0.64	0.22	0.21	0.20	0.15	1.36	0.23	2.65	0.22	0.03	0.22
4	0.24	0.64	0.22	0.21	0.20	0.16	1.36	0.23	2.64	0.22	0.03	0.22
6	0.28	0.64	0.21	0.19	0.20	0.18	1.36	0.21	2.81	0.20	0.02	0.21
24	0.27	0.62	0.23	0.20	0.16	0.14	1.21	0.23	2.24	0.21	0.11	0.21

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.22	0.60	0.22	0.18	0.13	0.15	1.21	0.23	1.78	0.20	0.23	0.20
0.6	0.28	0.63	0.24	0.21	0.16	0.16	1.27	0.24	2.08	0.22	0.11	0.22
1	0.29	0.51	0.23	0.23	0.20	0.19	1.02	0.24	1.35	0.23	0.10	0.24
2	0.29	0.23	0.26	0.26	0.25	0.26	0.26	0.25	0.25	0.26	0.09	0.26
4	0.23	0.64	0.22	0.22	0.20	0.13	1.36	0.23	2.74	0.22	0.06	0.22
6	0.24	0.64	0.22	0.22	0.21	0.13	1.36	0.23	2.68	0.22	0.05	0.22
24	0.24	0.64	0.23	0.22	0.21	0.14	1.36	0.24	2.69	0.22	0.05	0.23

Paillis de cèdre, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.27	0.25
0.5	0.24	0.68	0.24	0.22	0.18	0.07	0.37	0.24	3.24	0.22	0.10	0.22
1	0.24	0.68	0.24	0.22	0.18	0.08	0.37	0.24	3.24	0.22	0.10	0.22
2	0.25	0.68	0.24	0.22	0.18	0.09	0.37	0.24	3.22	0.22	0.10	0.23
4	0.25	0.68	0.24	0.22	0.19	0.13	0.38	0.25	3.25	0.22	0.10	0.23
6	0.26	0.68	0.24	0.21	0.18	0.14	0.37	0.24	3.23	0.22	0.09	0.23
24	0.28	0.68	0.24	0.19	0.19	0.26	0.39	0.25	3.25	0.22	0.09	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.27	0.25
0.5	0.25	0.68	0.25	0.23	0.19	0.07	0.37	0.25	3.15	0.23	0.10	0.23
1	0.25	0.68	0.25	0.23	0.18	0.08	0.37	0.25	3.19	0.22	0.10	0.23
2	0.25	0.68	0.24	0.22	0.18	0.09	0.37	0.25	3.17	0.22	0.10	0.23
4	0.25	0.68	0.24	0.22	0.18	0.12	0.36	0.24	3.13	0.22	0.09	0.23
6	0.25	0.68	0.24	0.21	0.18	0.14	0.36	0.24	3.09	0.22	0.09	0.22
24	0.27	0.68	0.24	0.18	0.18	0.24	0.37	0.24	3.06	0.22	0.09	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.27	0.25
0.5	0.25	0.68	0.24	0.23	0.20	0.08	0.35	0.24	3.10	0.23	0.12	0.23
1	0.25	0.68	0.24	0.23	0.20	0.08	0.35	0.24	3.15	0.22	0.11	0.23
2	0.26	0.68	0.24	0.22	0.19	0.10	0.35	0.24	3.14	0.22	0.11	0.23
4	0.25	0.68	0.24	0.22	0.20	0.12	0.35	0.24	3.09	0.23	0.11	0.23
6	0.25	0.68	0.24	0.22	0.19	0.14	0.34	0.24	3.08	0.22	0.11	0.22
24	0.27	0.68	0.24	0.20	0.20	0.23	0.36	0.24	3.17	0.22	0.11	0.23

Écailles d'arachides, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.5	0.25	0.64	0.23	0.23	0.22	0.17	1.36	0.24	2.34	0.23	0.09	0.22
1	0.24	0.64	0.23	0.22	0.21	0.18	1.36	0.23	2.43	0.22	0.09	21.78
2	0.25	0.64	0.23	0.23	0.22	0.19	1.36	0.23	2.32	0.23	0.08	0.22
4	0.24	0.64	0.23	0.22	0.21	0.20	1.36	0.23	2.32	0.23	0.08	0.22
6	0.24	0.64	0.23	0.22	0.21	0.21	1.36	0.23	2.37	0.22	0.08	0.22
24	0.25	0.64	0.23	0.22	0.22	0.24	1.36	0.24	2.34	0.23	0.07	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.5	0.25	0.64	0.23	0.22	0.20	0.16	1.36	0.23	2.32	0.22	0.08	0.22
1	0.24	0.64	0.23	0.22	0.19	0.17	1.36	0.23	2.39	0.22	0.08	0.21
2	0.23	0.69	0.24	0.23	0.21	0.19	1.47	0.24	2.80	0.23	0.08	0.22
4	0.23	0.69	0.24	0.23	0.21	0.21	1.47	0.24	2.83	0.23	0.07	0.22
6	0.23	0.69	0.24	0.23	0.21	0.21	1.47	0.24	2.85	0.23	0.07	0.22
24	0.23	0.69	0.24	0.23	0.21	0.22	1.47	0.24	2.85	0.23	0.07	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.5	0.24	0.69	0.24	0.24	0.23	0.17	1.47	0.25	2.80	0.24	0.10	0.23
1	0.24	0.69	0.25	0.24	0.23	0.19	1.47	0.25	2.74	0.24	0.09	0.23
2	0.23	0.69	0.24	0.23	0.22	0.19	1.47	0.24	2.79	0.24	0.08	0.23
4	0.24	0.69	0.24	0.23	0.21	0.21	1.47	0.24	2.88	0.24	0.08	0.22
6	0.24	0.69	0.25	0.24	0.23	0.23	1.47	0.25	2.70	0.24	0.06	0.23
24	0.25	0.69	0.25	0.23	0.24	0.25	1.47	0.25	2.79	0.24	0.07	0.23

Pin gris et épinette, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.25	0.24
0.5	0.24	0.64	0.21	0.21	0.20	0.15	1.36	0.22	2.81	0.21	0.04	0.21
1	0.24	0.64	0.21	0.21	0.20	0.16	1.36	0.22	2.73	0.21	0.04	0.22
2	0.30	0.64	0.22	0.20	0.21	0.20	1.36	0.22	2.83	0.21	0.03	0.22
4	0.24	0.64	0.22	0.21	0.19	0.13	1.36	0.23	2.60	0.22	0.05	0.22
6	0.23	0.64	0.22	0.21	0.19	0.13	1.36	0.23	2.64	0.22	0.04	0.22
24	0.23	0.64	0.22	0.21	0.19	0.14	1.36	0.23	2.65	0.22	0.04	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.25	0.24
0.5	0.24	0.64	0.23	0.23	0.22	0.20	0.46	0.27	2.27	0.23	0.09	0.24
1	0.25	0.64	0.23	0.23	0.22	0.20	0.46	0.27	2.27	0.23	0.08	0.24
2	0.25	0.64	0.24	0.23	0.21	0.20	0.47	0.27	2.25	0.23	0.07	0.24
4	0.25	0.64	0.24	0.23	0.22	0.21	0.48	0.27	2.29	0.23	0.07	0.24
6	0.25	0.64	0.23	0.22	0.22	0.21	0.47	0.27	2.22	0.23	0.07	0.24
24	0.26	0.64	0.23	0.22	0.24	0.22	0.47	0.27	2.22	0.22	0.05	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.22	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.25	0.24
0.5	0.25	0.64	0.24	0.23	0.22	0.21	0.47	0.27	2.27	0.23	0.09	0.24
1	0.26	0.64	0.24	0.23	0.22	0.21	0.48	0.28	2.22	0.23	0.09	0.25
2	0.25	0.64	0.23	0.23	0.22	0.21	0.48	0.27	2.27	0.23	0.08	0.24
4	0.25	0.64	0.23	0.22	0.22	0.21	0.47	0.27	2.25	0.22	0.07	0.24
6	0.25	0.64	0.23	0.22	0.22	0.21	0.47	0.27	2.33	0.22	0.06	0.23
24	0.26	0.63	0.23	0.21	0.24	0.22	0.47	0.27	2.43	0.22	0.06	0.23

Paillis de cacao, traitement acide, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.25
0.5	0.26	0.34	0.25	0.25	0.20	0.18	0.37	0.25	2.47	0.25	0.03	0.23
1	0.25	0.34	0.24	0.24	0.19	0.19	0.36	0.24	2.51	0.24	0.03	0.23
2	0.25	0.34	0.24	0.24	0.19	0.21	0.36	0.24	2.43	0.24	0.02	0.23
4	0.24	0.33	0.24	0.24	0.18	0.21	0.36	0.24	2.51	0.24	0.02	0.23
6	0.24	0.34	0.24	0.24	0.18	0.22	0.36	0.24	2.60	0.24	0.02	0.23
24	0.24	0.33	0.24	0.23	0.18	0.23	0.35	0.24	2.60	0.24	0.01	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.25
0.5	0.25	0.34	0.24	0.24	0.19	0.18	0.36	0.24	2.63	0.24	0.03	0.23
1	0.25	0.33	0.24	0.24	0.18	0.19	0.36	0.24	2.56	0.24	0.03	0.23
2	0.25	0.33	0.24	0.24	0.18	0.20	0.36	0.24	2.55	0.24	0.02	0.23
4	0.25	0.33	0.24	0.24	0.18	0.21	0.35	0.24	2.63	0.24	0.02	0.23
6	0.24	0.33	0.24	0.23	0.18	0.22	0.35	0.24	2.51	0.23	0.02	0.22
24	0.25	0.34	0.25	0.23	0.18	0.23	0.36	0.24	2.58	0.24	0.02	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.27	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.25
0.5	0.25	0.33	0.24	0.24	0.17	0.17	0.35	0.24	2.54	0.24	0.02	0.23
1	0.25	0.33	0.24	0.24	0.17	0.19	0.35	0.24	2.58	0.24	0.02	0.23
2	0.24	0.32	0.24	0.24	0.16	0.20	0.35	0.24	2.62	0.24	0.02	0.23
4	0.24	0.33	0.24	0.24	0.16	0.22	0.35	0.24	2.72	0.24	0.01	0.23
6	0.24	0.33	0.23	0.23	0.16	0.21	0.35	0.23	2.75	0.23	0.01	0.22
24	0.24	0.32	0.24	0.23	0.16	0.22	0.35	0.23	2.72	0.24	0.01	0.22

Mousse de tourbe, traitement acide, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.21	0.26	0.21	0.22	0.15	0.11	0.28	0.24	2.62	0.23	0.13	0.23
1	0.20	0.25	0.23	0.21	0.14	0.12	0.27	0.23	2.69	0.22	0.12	0.22
2	0.19	0.26	0.23	0.21	0.14	0.13	0.28	0.23	2.77	0.22	0.12	0.22
4	0.18	0.26	0.23	0.21	0.14	0.15	0.28	0.23	2.78	0.22	0.12	0.22
6	0.17	0.26	0.23	0.20	0.14	0.15	0.27	0.22	2.76	0.21	0.12	0.22
24	0.15	0.26	0.22	0.17	0.14	0.16	0.27	0.22	2.77	0.21	0.12	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.20	0.25	0.23	0.21	0.14	0.10	0.28	0.23	2.70	0.22	0.12	0.23
1	0.19	0.26	0.23	0.21	0.13	0.11	0.27	0.23	2.66	0.22	0.12	0.23
2	0.18	0.26	0.23	0.21	0.13	0.13	0.28	0.23	2.62	0.22	0.11	0.22
4	0.17	0.26	0.23	0.21	0.13	0.14	0.28	0.23	2.85	0.22	0.12	0.22
6	0.15	0.25	0.23	0.20	0.13	0.14	0.27	0.22	2.86	0.21	0.11	0.22
24	0.14	0.25	0.23	0.16	0.13	0.16	0.27	0.22	2.99	0.21	0.11	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.21	0.26	0.24	0.22	0.15	0.11	0.28	0.23	2.98	0.22	0.13	0.23
1	0.21	0.26	0.24	0.22	0.15	0.13	0.28	0.23	2.94	0.23	0.13	0.23
2	0.19	0.25	0.23	0.21	0.14	0.13	0.27	0.22	2.95	0.22	0.12	0.22
4	0.18	0.25	0.23	0.21	0.14	0.15	0.27	0.22	3.02	0.22	0.12	0.22
6	0.17	0.26	0.23	0.20	0.14	0.15	0.27	0.22	3.00	0.21	0.12	0.22
24	0.16	0.25	0.22	0.17	0.14	0.17	0.27	0.22	2.98	0.22	0.12	0.22

Paillis de cèdre, traitement acide, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.43	0.24	0.23	0.19	0.14	0.25	0.23	3.12	0.22	0.07	0.23
1	0.23	0.43	0.24	0.23	0.19	0.15	0.25	0.23	3.14	0.22	0.07	0.23
2	0.23	0.43	0.24	0.23	0.19	0.17	0.25	0.23	3.14	0.23	0.07	0.23
4	0.22	0.43	0.24	0.22	0.18	0.18	0.25	0.23	3.22	0.23	0.06	0.23
6	0.21	0.43	0.24	0.22	0.18	0.19	0.24	0.23	3.16	0.22	0.06	0.23
24	0.19	0.43	0.23	0.20	0.17	0.22	0.24	0.22	3.12	0.22	0.06	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.26	0.26
0.5	0.23	0.42	0.24	0.23	0.19	0.13	0.24	0.23	3.18	0.22	0.08	0.23
1	0.24	0.43	0.24	0.23	0.19	0.15	0.25	0.23	3.12	0.23	0.07	0.23
2	0.22	0.42	0.24	0.22	0.19	0.17	0.24	0.23	3.22	0.22	0.07	0.23
4	0.22	0.43	0.24	0.22	0.19	0.18	0.25	0.23	2.93	0.22	0.07	0.23
6	0.22	0.43	0.24	0.22	0.18	0.19	0.25	0.23	2.91	0.22	0.07	0.23
24	0.20	0.43	0.24	0.20	0.18	0.23	0.25	0.23	2.92	0.22	0.06	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.26	0.26
0.5	0.23	0.43	0.24	0.23	0.19	0.14	0.24	0.23	2.98	0.22	0.07	0.23
1	0.24	0.43	0.24	0.23	0.19	0.15	0.25	0.23	3.07	0.23	0.07	0.23
2	0.23	0.43	0.24	0.23	0.19	0.17	0.25	0.23	2.92	0.23	0.07	0.23
4	0.20	0.37	0.21	0.20	0.15	0.16	0.22	0.20	3.98	0.20	0.06	0.20
6	0.19	0.38	0.21	0.20	0.15	0.17	0.22	0.21	4.01	0.20	0.06	0.20
24	0.19	0.36	0.21	0.19	0.15	0.21	0.22	0.22	3.43	0.21	0.05	0.20

Écailles d'arachides, traitement acide, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.25	0.30	0.25	0.24	0.23	0.19	0.26	0.23	3.11	0.24	0.10	0.23
1	0.24	0.29	0.23	0.22	0.21	0.19	0.24	0.22	2.94	0.22	0.09	0.22
2	0.25	0.32	0.24	0.24	0.22	0.21	0.25	0.23	3.02	0.24	0.08	0.23
4	0.25	0.33	0.24	0.24	0.22	0.22	0.26	0.23	3.03	0.24	0.08	0.23
6	0.24	0.34	0.23	0.23	0.21	0.22	0.25	0.23	3.12	0.23	0.08	0.22
24	0.25	0.39	0.24	0.23	0.22	0.24	0.25	0.23	3.07	0.23	0.08	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.25	0.29	0.24	0.24	0.21	0.18	0.25	0.23	3.05	0.23	0.09	0.23
1	0.25	0.30	0.24	0.23	0.21	0.19	0.25	0.23	3.06	0.23	0.08	0.23
2	0.25	0.31	0.24	0.24	0.21	0.20	0.25	0.23	2.99	0.23	0.08	0.23
4	0.25	0.33	0.24	0.23	0.21	0.21	0.25	0.23	3.08	0.23	0.07	0.23
6	0.25	0.34	0.24	0.23	0.20	0.22	0.25	0.23	3.05	0.23	0.07	0.23
24	0.24	0.37	0.23	0.23	0.20	0.23	0.25	0.23	3.08	0.23	0.07	0.22

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.23	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
0.5	0.25	0.29	0.24	0.23	0.22	0.18	0.25	0.23	3.14	0.23	0.10	0.22
1	0.24	0.31	0.24	0.24	0.23	0.19	0.26	0.24	3.11	0.24	0.10	0.23
2	0.24	0.31	0.24	0.24	0.23	0.20	0.25	0.23	3.17	0.23	0.09	0.23
4	0.24	0.33	0.24	0.23	0.23	0.22	0.25	0.23	3.24	0.23	0.09	0.23
6	0.24	0.34	0.24	0.23	0.23	0.23	0.25	0.23	3.22	0.24	0.09	0.23
24	0.24	0.38	0.24	0.23	0.22	0.24	0.25	0.24	3.28	0.24	0.08	0.23

Pin gris et épinette, traitement acide, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.38	0.24	0.24	0.24	0.22	0.25	0.23	2.94	0.24	0.09	0.23
1	0.24	0.39	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	2.87	0.23	0.07	0.23
2	0.24	0.41	0.24	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	2.79	0.23	0.07	0.23
4	0.24	0.43	0.24	0.24	0.23	0.23	0.24	0.23	2.89	0.23	0.06	0.23
6	0.24	0.44	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.23	2.73	0.23	0.06	0.23
24	0.23	0.49	0.24	0.23	0.23	0.24	0.25	0.23	2.79	0.23	0.05	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.39	0.24	0.24	0.24	0.22	0.25	0.23	2.97	0.23	0.10	0.23
1	0.25	0.39	0.24	0.24	0.24	0.23	0.25	0.23	2.96	0.24	0.08	0.24
2	0.24	0.40	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.23	2.85	0.24	0.08	0.23
4	0.24	0.41	0.24	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	2.71	0.23	0.07	0.23
6	0.24	0.43	0.24	0.24	0.23	0.24	0.24	0.23	2.97	0.24	0.07	0.23
24	0.24	0.46	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.23	2.81	0.23	0.06	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.38	0.24	0.23	0.24	0.22	0.24	0.23	2.91	0.23	0.09	0.23
1	0.24	0.39	0.24	0.23	0.23	0.22	0.24	0.23	2.93	0.24	0.08	0.23
2	0.24	0.40	0.24	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	2.96	0.23	0.07	0.23
4	0.23	0.42	0.24	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	2.92	0.23	0.07	0.23
6	0.24	0.43	0.24	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	3.06	0.23	0.06	0.23
24	0.24	0.47	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.23	3.09	0.23	0.06	0.23

Paillis de cacao, traitement phosphate, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.23	0.56	0.22	0.22	0.14	0.09	0.91	0.24	2.83	0.22	0.02	0.23
1	0.22	0.56	0.22	0.21	0.14	0.10	0.88	0.23	2.99	0.21	0.01	0.22
2	0.23	0.56	0.22	0.21	0.14	0.12	0.87	0.23	3.00	0.21	0.01	0.22
4	0.24	0.55	0.21	0.20	0.14	0.14	0.85	0.22	3.06	0.21	0.01	0.22
6	0.24	0.55	0.21	0.20	0.15	0.15	0.86	0.22	3.05	0.21	0.01	0.21
24	0.25	0.55	0.20	0.18	0.15	0.17	0.80	0.21	3.09	0.20	0.01	0.20

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.22	0.55	0.21	0.21	0.12	0.09	0.88	0.23	2.91	0.21	0.02	0.22
1	0.22	0.55	0.21	0.21	0.12	0.10	0.88	0.23	2.94	0.21	0.01	0.21
2	0.22	0.55	0.21	0.20	0.12	0.11	0.86	0.22	2.94	0.21	0.01	0.21
4	0.22	0.55	0.20	0.20	0.12	0.13	0.84	0.22	2.76	0.20	0.01	0.20
6	0.23	0.55	0.20	0.19	0.13	0.14	0.84	0.21	2.80	0.20	0.01	0.20
24	0.23	0.55	0.18	0.16	0.13	0.15	0.77	0.19	2.93	0.18	0.01	0.18

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.21	0.55	0.21	0.21	0.09	0.08	0.91	0.23	2.47	0.21	0.01	0.21
1	0.21	0.56	0.20	0.20	0.09	0.09	0.89	0.23	2.63	0.20	0.01	0.20
2	0.21	0.55	0.20	0.20	0.09	0.10	0.88	0.22	2.68	0.20	0.01	0.20
4	0.22	0.56	0.19	0.19	0.09	0.12	0.86	0.22	2.65	0.20	0.01	0.20
6	0.21	0.56	0.19	0.18	0.10	0.12	0.84	0.21	2.68	0.19	0.00	0.19
24	0.23	0.55	0.18	0.15	0.10	0.14	0.77	0.20	2.98	0.18	0.00	0.18

Mousse de tourbe, traitement phosphate, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.20	0.51	0.21	0.17	0.10	0.05	0.74	0.22	2.72	0.19	0.07	0.20
1	0.19	0.52	0.21	0.16	0.09	0.06	0.75	0.22	2.71	0.19	0.07	0.20
2	0.18	0.51	0.21	0.15	0.09	0.07	0.72	0.22	2.48	0.18	0.06	0.20
4	0.17	0.52	0.21	0.14	0.09	0.09	0.74	0.22	2.52	0.19	0.06	0.20
6	0.17	0.52	0.21	0.14	0.09	0.10	0.74	0.22	2.45	0.19	0.06	0.20
24	0.18	0.53	0.21	0.09	0.10	0.13	0.75	0.22	2.49	0.19	0.07	0.21

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	
0.5	0.17	0.49	0.20	0.15	0.08	0.05	0.73	0.22	2.46	0.18	0.06	
1	0.16	0.50	0.20	0.15	0.08	0.06	0.74	0.22	2.52	0.18	0.06	
2	0.16	0.51	0.20	0.14	0.08	0.06	0.73	0.22	2.58	0.18	0.05	
4	0.15	0.51	0.20	0.13	0.08	0.08	0.73	0.22	2.49	0.18	0.06	
6	0.15	0.50	0.20	0.12	0.08	0.09	0.73	0.22	2.36	0.18	0.06	
24	0.16	0.52	0.21	0.08	0.09	0.12	0.76	0.22	2.36	0.19	0.06	

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.25	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.13	0.48	0.19	0.13	0.07	0.04	0.72	0.22	2.44	0.17	0.04	0.19
1	0.12	0.48	0.19	0.12	0.06	0.04	0.72	0.21	2.68	0.17	0.04	0.19
2	0.11	0.49	0.19	0.12	0.06	0.05	0.73	0.22	2.65	0.17	0.04	0.19
4	0.10	0.50	0.19	0.10	0.06	0.06	0.73	0.21	2.56	0.17	0.04	0.19
6	0.10	0.49	0.19	0.09	0.06	0.07	0.72	0.21	2.43	0.17	0.04	0.19
24	0.11	0.50	0.19	0.05	0.06	0.09	0.73	0.21	2.42	0.17	0.04	0.19

Paillis de cèdre, traitement phosphate, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26
0.5	0.23	0.56	0.24	0.23	0.19	0.13	0.31	0.24	2.98	0.22	0.09	0.23
1	0.23	0.56	0.24	0.22	0.19	0.06	0.31	0.24	2.82	0.22	0.09	0.23
2	0.23	0.56	0.23	0.22	0.18	0.07	0.30	0.23	2.74	0.22	0.09	0.23
4	0.23	0.56	0.24	0.21	0.19	0.09	0.31	0.24	2.92	0.22	0.09	0.23
6	0.23	0.56	0.23	0.21	0.18	0.10	0.30	0.23	2.93	0.22	0.08	0.22
24	0.25	0.56	0.24	0.19	0.19	0.19	0.32	0.24	2.91	0.22	0.08	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26
0.5	0.23	0.56	0.23	0.22	0.19	0.06	0.30	0.23	2.98	0.22	0.10	0.22
1	0.23	0.56	0.23	0.22	0.19	0.07	0.30	0.23	2.98	0.22	0.09	0.22
2	0.23	0.56	0.23	0.22	0.19	0.08	0.30	0.23	2.91	0.22	0.09	0.23
4	0.24	0.56	0.23	0.22	0.19	0.10	0.30	0.23	2.93	0.22	0.09	0.23
6	0.23	0.55	0.23	0.21	0.19	0.11	0.30	0.23	2.92	0.22	0.09	0.22
24	0.25	0.56	0.24	0.20	0.20	0.21	0.32	0.24	2.89	0.22	0.09	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26
0.5	0.22	0.56	0.23	0.22	0.18	0.06	0.30	0.23	2.86	0.22	0.08	0.22
1	0.22	0.56	0.23	0.22	0.18	0.06	0.30	0.23	2.90	0.21	0.08	0.22
2	0.22	0.56	0.23	0.21	0.18	0.07	0.30	0.23	2.77	0.22	0.08	0.22
4	0.22	0.56	0.23	0.21	0.18	0.08	0.30	0.23	2.96	0.22	0.08	0.22
6	0.23	0.56	0.10	0.23	0.09	0.13	0.54	1.17	0.57	0.29	0.07	0.23
24	0.25	0.57	0.24	0.19	0.19	0.19	0.32	0.24	2.59	0.23	0.08	0.23

Écailles d'arachides, traitement phosphate, lixivial synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.23	0.56	0.24	0.23	0.21	0.06	0.53	0.24	2.67	0.23	0.10	0.23
1	0.23	0.56	0.23	0.23	0.21	0.07	0.53	0.23	2.64	0.23	0.10	0.22
2	0.23	0.56	0.23	0.23	0.21	0.09	0.53	0.23	2.49	0.23	0.10	0.23
4	0.24	0.56	0.23	0.23	0.21	0.12	0.54	0.24	2.67	0.23	0.09	0.23
6	0.24	0.56	0.24	0.23	0.21	0.14	0.55	0.24	2.57	0.23	0.09	0.23
24	0.25	0.57	0.24	0.23	0.22	0.24	0.56	0.25	2.80	0.24	0.07	0.24

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.22	0.57	0.24	0.23	0.20	0.05	0.52	0.24	2.81	0.24	0.10	0.23
1	0.23	0.57	0.24	0.23	0.20	0.05	0.52	0.24	2.85	0.23	0.09	0.23
2	0.23	0.57	0.24	0.23	0.19	0.08	0.53	0.24	2.79	0.23	0.09	0.23
4	0.23	0.57	0.23	0.22	0.18	0.10	0.52	0.23	2.65	0.23	0.08	0.22
6	0.23	0.57	0.23	0.22	0.18	0.12	0.52	0.23	2.74	0.23	0.08	0.22
24	0.25	0.57	0.23	0.22	0.19	0.22	0.53	0.24	2.68	0.23	0.07	0.23

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25
0.5	0.23	0.57	0.24	0.24	0.20	0.05	0.53	0.24	2.66	0.24	0.09	0.23
1	0.23	0.57	0.24	0.24	0.20	0.06	0.53	0.24	2.63	0.24	0.09	0.23
2	0.23	0.57	0.24	0.23	0.19	0.08	0.53	0.24	2.71	0.24	0.08	0.23
4	0.23	0.57	0.24	0.23	0.19	0.11	0.53	0.24	2.73	0.23	0.08	0.23
6	0.23	0.57	0.24	0.23	0.19	0.13	0.54	0.24	2.76	0.23	0.08	0.23
24	0.25	0.57	0.24	0.22	0.19	0.22	0.54	0.24	2.73	0.23	0.06	0.23

Pin gris et épinette, traitement phosphate, lixiviat synthétique

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.57	0.24	0.23	0.25	0.18	0.29	0.27	2.88	0.23	0.12	0.24
1	0.24	0.57	0.24	0.23	0.24	0.19	0.28	0.27	2.96	0.23	0.12	0.24
2	0.25	0.57	0.24	0.24	0.25	0.20	0.29	0.27	2.95	0.23	0.12	0.25
4	0.24	0.57	0.23	0.23	0.24	0.20	0.28	0.26	2.94	0.23	0.11	0.24
6	0.26	0.57	0.24	0.24	0.25	0.22	0.29	0.27	2.88	0.24	0.11	0.25
24	0.25	0.57	0.24	0.23	0.26	0.24	0.29	0.27	2.95	0.23	0.10	0.25

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.57	0.24	0.24	0.24	0.16	0.29	0.27	2.70	0.24	0.11	0.25
1	0.24	0.57	0.24	0.23	0.23	0.17	0.28	0.26	2.59	0.23	0.10	0.24
2	0.24	0.57	0.23	0.22	0.23	0.18	0.28	0.26	2.92	0.23	0.10	0.24
4	0.24	0.57	0.23	0.22	0.23	0.19	0.28	0.26	2.83	0.23	0.09	0.24
6	0.25	0.57	0.23	0.22	0.23	0.20	0.28	0.26	2.89	0.22	0.09	0.24
24	0.25	0.57	0.24	0.22	0.25	0.23	0.29	0.27	2.96	0.23	0.08	0.24

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.26	0.23	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26
0.5	0.24	0.57	0.24	0.23	0.24	0.17	0.29	0.27	2.92	0.23	0.12	0.25
1	0.25	0.57	0.24	0.23	0.24	0.18	0.29	0.27	2.79	0.24	0.11	0.25
2	0.24	0.57	0.24	0.23	0.24	0.19	0.28	0.27	2.87	0.23	0.10	0.25
4	0.25	0.57	0.24	0.23	0.24	0.20	0.29	0.27	2.78	0.23	0.10	0.25
6	0.25	0.57	0.24	0.23	0.25	0.21	0.29	0.27	2.86	0.23	0.10	0.25
24	0.26	0.57	0.24	0.23	0.26	0.24	0.30	0.28	2.87	0.24	0.09	0.25

APPENDICE B :

Concentration en métaux dans le filtrat provenant du lixiviat
de boues d'épuration, études cinétiques

Paillis de cacao : lixiviat de boues d'épuration

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao , sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	3.57	0.5701	0.0018	0.0163	0.0525	3.23	1.50	0.1398	5.60	0.0111	0.0000	0.1729
1	3.40	0.5696	0.0019	0.0157	0.0495	3.22	1.51	0.1402	5.65	0.0115	0.0000	0.1741
2	3.35	0.5691	0.0020	0.0153	0.0473	3.23	1.50	0.1410	5.58	0.0116	0.0000	0.1761
4	3.29	0.5694	0.0019	0.0141	0.0463	3.23	1.50	0.1372	5.46	0.0116	0.0000	0.1727
6	3.25	0.5698	0.0018	0.0125	0.0456	3.23	1.50	0.1356	5.33	0.0114	0.0000	0.1714
24	3.32	0.5736	0.0017	0.0082	0.0412	3.24	1.50	0.1205	4.68	0.0108	0.0000	0.1553

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	5.29	0.5059	0.0026	0.0205	0.1919	3.68	1.71	0.1548	5.92	0.0119	0.0011	0.2193
0.5	4.71	0.5660	0.0021	0.0180	0.1039	3.70	1.71	0.1351	5.41	0.0108	0.0000	0.1907
1	4.66	0.5529	0.0021	0.0173	0.0936	3.69	1.71	0.1324	5.26	0.0107	0.0000	0.1880
2	4.66	0.5661	0.0020	0.0176	0.0888	3.69	1.71	0.1332	5.11	0.0109	0.0000	0.1862
4	4.65	0.5540	0.0021	0.0170	0.0893	3.69	1.71	0.1338	5.31	0.0107	0.0000	0.1874
6	4.68	0.5521	0.0020	0.0173	0.0875	3.70	1.71	0.1331	5.27	0.0104	0.0000	0.1875
24	4.76	0.5500	0.0021	0.0161	0.0937	3.70	1.71	0.1364	5.35	0.0111	0.0000	0.1926

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.19	0.5942	0.0020	0.0165	0.0358	3.29	1.51	0.1400	5.74	0.0114	0.0000	0.1817
1	1.95	0.5958	0.0019	0.0160	0.0341	3.29	1.52	0.1381	5.73	0.0114	0.0000	0.1804
2	1.78	0.5966	0.0019	0.0149	0.0346	3.29	1.52	0.1337	5.76	0.0114	0.0000	0.1767
4	1.79	0.5967	0.0019	0.0137	0.0369	3.29	1.52	0.1299	5.79	0.0112	0.0000	0.1744
6	1.88	0.5962	0.0019	0.0126	0.0398	3.29	1.52	0.1296	5.78	0.0117	0.0000	0.1751
24	2.67	0.5965	0.0021	0.0089	0.0580	3.29	1.51	0.1372	5.76	0.0126	0.0000	0.1897

Mousse de tourbe : lixiviat de boues d'épuration

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	4.21	0.5679	0.0020	0.0174	0.1138	3.23	1.50	0.1382	5.39	0.0105	0.0010	0.1893
1	4.19	0.5676	0.0020	0.0170	0.1122	3.24	1.50	0.1382	5.50	0.0099	0.0011	0.1904
2	4.17	0.5681	0.0020	0.0167	0.1137	3.23	1.50	0.1401	5.51	0.0107	0.0009	0.1926
4	4.18	0.5676	0.0020	0.0164	0.1136	3.23	1.50	0.1397	5.48	0.0103	0.0010	0.1923
6	4.13	0.5679	0.0020	0.0159	0.1128	3.23	1.51	0.1380	5.49	0.0099	0.0010	0.1892
24	4.23	0.5675	0.0021	0.0138	0.1189	3.23	1.51	0.1381	5.52	0.0104	0.0010	0.1897

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.59	0.6287	0.0021	0.0188	0.1190	3.45	1.59	0.1341	5.09	0.0113	0.0003	0.1982
1	4.61	0.6283	0.0023	0.0188	0.1180	3.45	1.59	0.1348	5.13	0.0111	0.0002	0.1989
2	4.55	0.6124	0.0022	0.0192	0.1191	3.45	1.59	0.1343	5.19	0.0110	0.0003	0.1996
4	4.45	0.6293	0.0020	0.0176	0.1169	3.45	1.59	0.1308	5.09	0.0108	0.0002	0.1949
6	4.53	0.6291	0.0021	0.0176	0.1192	3.45	1.59	0.1320	5.10	0.0112	0.0002	0.1972
24	4.59	0.6278	0.0022	0.0169	0.1308	3.45	1.59	0.1375	5.34	0.0117	0.0005	0.2047

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.77	0.5963	0.0020	0.0153	0.0492	3.29	1.52	0.1304	5.74	0.0104	0.0000	0.1756
1	2.53	0.5967	0.0019	0.0144	0.0473	3.29	1.52	0.1311	5.76	0.0107	0.0000	0.1760
2	2.44	0.5957	0.0020	0.0132	0.0499	3.29	1.52	0.1323	5.73	0.0102	0.0000	0.1792
4	2.50	0.5953	0.0021	0.0111	0.0534	3.29	1.52	0.1339	5.74	0.0110	0.0000	0.1817
6	2.56	0.5965	0.0020	0.0089	0.0546	3.29	1.52	0.1311	5.76	0.0107	0.0000	0.1800
24	3.16	0.5967	0.0021	0.0033	0.0658	3.30	1.52	0.1359	5.74	0.0111	0.0000	0.1867

Paillis de cèdre : lixiviat de boues d'épuration

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0020	0.2102
0.5	4.17	0.5663	0.0021	0.0172	0.1184	3.22	1.51	0.1400	4.92	0.0106	0.0002	0.1910
1	4.24	0.5663	0.0019	0.0171	0.1176	3.23	1.50	0.1421	4.96	0.0109	0.0003	0.1919
2	4.17	0.5667	0.0020	0.0167	0.1167	3.23	1.51	0.1405	4.99	0.0116	0.0003	0.1895
4	4.18	0.5661	0.0021	0.0162	0.1183	3.22	1.51	0.1423	4.95	0.0117	0.0003	0.1926
6	4.23	0.5667	0.0020	0.0156	0.1182	3.23	1.51	0.1423	4.93	0.0118	0.0003	0.1911
24	4.20	0.5709	0.0021	0.0119	0.1182	3.23	1.51	0.1428	4.87	0.0121	0.0001	0.1910

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.71	0.5288	0.0022	0.0178	0.1485	3.70	1.71	0.1327	5.04	0.0107	0.0000	0.1940
1	4.69	0.5435	0.0021	0.0177	0.1478	3.69	1.71	0.1310	4.85	0.0106	0.0000	0.1910
2	4.75	0.5478	0.0022	0.0183	0.1512	3.69	1.71	0.1337	4.98	0.0112	0.0000	0.1955
4	4.66	0.5206	0.0021	0.0180	0.1473	3.70	1.71	0.1310	4.89	0.0106	0.0000	0.1900
6	4.69	0.5232	0.0021	0.0181	0.1498	3.70	1.71	0.1322	5.02	0.0106	0.0000	0.1911
24	4.72	0.5273	0.0021	0.0170	0.1424	3.69	1.71	0.1333	5.06	0.0108	0.0000	0.1945

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	3.66	0.5880	0.0022	0.0193	0.1186	3.45	1.59	0.1514	6.19	0.0115	0.0000	0.2014
1	3.40	0.6076	0.0021	0.0185	0.1213	3.45	1.59	0.1516	6.19	0.0118	0.0000	0.2026
2	3.33	0.5919	0.0023	0.0188	0.1225	3.45	1.59	0.1510	6.18	0.0121	0.0000	0.2017
4	3.17	0.6068	0.0022	0.0179	0.1268	3.45	1.58	0.1506	6.18	0.0129	0.0000	0.2030
6	3.21	0.6087	0.0023	0.0181	0.1285	3.45	1.59	0.1499	6.19	0.0125	0.0000	0.2025
24	3.36	0.5841	0.0022	0.0156	0.1344	3.46	1.59	0.1484	6.20	0.0127	0.0000	0.2025

Écailles d'arachides : lixiviat de boues d'épuration

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0019	0.2102
0,5	4.14	0.5689	0.0019	0.0171	0.0952	3.22	1.51	0.1293	5.58	0.0096	0.0000	0.1794
1	4.11	0.5690	0.0019	0.0170	0.0952	3.23	1.50	0.1311	5.63	0.0095	0.0000	0.1811
2	4.02	0.5690	0.0019	0.0167	0.0943	3.23	1.51	0.1294	5.59	0.0099	0.0000	0.1795
4	4.05	0.5695	0.0019	0.0165	0.0936	3.22	1.51	0.1282	5.50	0.0100	0.0000	0.1781
6	4.00	0.5692	0.0020	0.0161	0.0940	3.22	1.51	0.1286	5.51	0.0096	0.0000	0.1786
24	4.05	0.5705	0.0020	0.0147	0.0963	3.22	1.51	0.1299	5.49	0.0098	0.0000	0.1795

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0,5	4.78	0.5024	0.0022	0.0181	0.1378	3.70	1.71	0.1351	5.12	0.0105	0.0000	0.1968
1	4.79	0.4981	0.0022	0.0179	0.1361	3.70	1.71	0.1341	5.06	0.0107	0.0000	0.1951
2	4.71	0.4955	0.0022	0.0177	0.1352	3.69	1.71	0.1327	5.12	0.0106	0.0000	0.1954
4	4.72	0.5182	0.0021	0.0177	0.1341	3.69	1.71	0.1328	5.10	0.0106	0.0000	0.1947
6	4.75	0.5203	0.0021	0.0179	0.1340	3.69	1.71	0.1346	5.16	0.0107	0.0000	0.1968
24	4.76	0.5298	0.0022	0.0170	0.1293	3.69	1.71	0.1342	5.04	0.0109	0.0000	0.1956

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0,5	4.55	0.6125	0.0021	0.0185	0.1059	3.45	1.59	0.1387	6.31	0.0112	0.0000	0.1988
1	4.43	0.6272	0.0022	0.0187	0.1061	3.45	1.59	0.1380	6.32	0.0111	0.0000	0.1978
2	4.38	0.6107	0.0023	0.0183	0.1088	3.45	1.59	0.1394	6.31	0.0109	0.0000	0.1996
4	4.43	0.6284	0.0022	0.0179	0.1103	3.45	1.59	0.1388	6.31	0.0114	0.0000	0.1991
6	4.34	0.6261	0.0021	0.0176	0.1112	3.44	1.59	0.1385	6.31	0.0112	0.0000	0.1984
24	4.49	0.6291	0.0022	0.0151	0.1148	3.45	1.58	0.1386	6.31	0.0113	0.0000	0.1994

Pin gris et épinette : lixiviat de boues d'épuration

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.52	0.5511	0.0023	0.0188	0.1733	3.19	1.49	0.1352	5.21	0.0113	0.0028	0.2073
0.5	4.40	0.5454	0.0020	0.0178	0.1352	3.38	1.57	0.1387	5.04	0.0107	0.0005	0.2044
1	4.37	0.5676	0.0020	0.0174	0.1321	3.38	1.57	0.1373	4.93	0.0103	0.0005	0.2029
2	4.42	0.5661	0.0020	0.0175	0.1350	3.39	1.58	0.1406	5.05	0.0109	0.0004	0.2077
4	4.44	0.5682	0.0020	0.0172	0.1344	3.38	1.57	0.1388	5.04	0.0108	0.0003	0.2042
6	4.38	0.5673	0.0021	0.0171	0.1348	3.38	1.57	0.1400	5.03	0.0107	0.0003	0.2055
24	4.49	0.5672	0.0021	0.0164	0.1381	3.37	1.57	0.1440	5.25	0.0112	0.0002	0.2113

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.70	0.5228	0.0023	0.0178	0.1410	3.70	1.71	0.1336	5.11	0.0109	0.0000	0.1935
1	4.73	0.5453	0.0022	0.0181	0.1430	3.70	1.71	0.1327	5.13	0.0105	0.0000	0.1930
2	4.71	0.5063	0.0021	0.0176	0.1434	3.69	1.71	0.1333	5.15	0.0106	0.0000	0.1934
4	4.72	0.5249	0.0022	0.0177	0.1444	3.69	1.71	0.1339	5.21	0.0106	0.0000	0.1957
6	4.72	0.5004	0.0021	0.0177	0.1429	3.70	1.71	0.1335	5.11	0.0107	0.0000	0.1931
24	4.72	0.5010	0.0021	0.0179	0.1521	3.70	1.71	0.1330	5.10	0.0111	0.0000	0.1947

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	4.33	0.5954	0.0022	0.0176	0.1240	3.29	1.52	0.1351	5.98	0.0113	0.0000	0.1983
1	4.29	0.5953	0.0021	0.0173	0.1250	3.29	1.52	0.1337	5.98	0.0109	0.0000	0.1990
2	4.29	0.5963	0.0021	0.0175	0.1280	3.29	1.52	0.1347	5.98	0.0112	0.0000	0.1994
4	4.18	0.5952	0.0021	0.0170	0.1326	3.29	1.52	0.1348	5.97	0.0113	0.0000	0.1994
6	4.15	0.5966	0.0021	0.0166	0.1318	3.29	1.52	0.1332	5.98	0.0111	0.0000	0.1977
24	4.40	0.5893	0.0022	0.0156	0.1441	3.35	1.54	0.1372	6.09	0.0113	0.0000	0.2043

Paillis de cacao : lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	3.39	0.5704	0.0017	0.0163	0.0521	3.23	1.50	0.1385	6.09	0.0114	0.0000	0.1688
1	3.30	0.5717	0.0018	0.0149	0.0479	3.23	1.51	0.1372	6.11	0.0110	0.0000	0.1692
2	3.24	0.5692	0.0019	0.0144	0.0465	3.22	1.50	0.1378	6.10	0.0115	0.0000	0.1720
4	3.07	0.5682	0.0018	0.0131	0.0444	3.23	1.51	0.1363	6.12	0.0118	0.0000	0.1695
6	3.05	0.5706	0.0019	0.0113	0.0432	3.23	1.50	0.1317	6.12	0.0112	0.0000	0.1688
24	3.42	0.5721	0.0017	0.0073	0.0414	3.23	1.51	0.1280	6.11	0.0115	0.0000	0.1621

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	3.69	0.5697	0.0018	0.0162	0.0525	3.22	1.50	0.1400	5.42	0.0109	0.0000	0.1743
1	3.48	0.5689	0.0019	0.0161	0.0505	3.23	1.51	0.1432	5.60	0.0122	0.0000	0.1766
2	3.41	0.5686	0.0020	0.0157	0.0468	3.23	1.50	0.1434	5.42	0.0115	0.0000	0.1781
4	3.37	0.5702	0.0020	0.0144	0.0463	3.23	1.50	0.1367	5.23	0.0115	0.0000	0.1737
6	3.34	0.5702	0.0018	0.0129	0.0466	3.23	1.50	0.1386	5.01	0.0116	0.0000	0.1742
24	3.30	0.5747	0.0017	0.0085	0.0415	3.24	1.50	0.1187	4.05	0.0100	0.0000	0.1536

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	3.64	0.5701	0.0020	0.0164	0.0529	3.23	1.50	0.1409	5.28	0.0111	0.0000	0.1755
1	3.44	0.5683	0.0019	0.0161	0.0500	3.22	1.50	0.1403	5.25	0.0112	0.0000	0.1765
2	3.40	0.5694	0.0020	0.0158	0.0486	3.23	1.50	0.1419	5.21	0.0118	0.0000	0.1783
4	3.43	0.5698	0.0019	0.0147	0.0480	3.23	1.50	0.1387	5.02	0.0116	0.0000	0.1750
6	3.35	0.5685	0.0019	0.0132	0.0469	3.23	1.51	0.1366	4.86	0.0114	0.0000	0.1731
24	3.24	0.5740	0.0016	0.0088	0.0406	3.24	1.50	0.1148	3.87	0.0110	0.0000	0.1503

Mousse de tourbe : lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	4.19	0.5684	0.0020	0.0176	0.1119	3.24	1.50	0.1371	5.28	0.0104	0.0010	0.1874
1	4.16	0.5684	0.0021	0.0167	0.1108	3.24	1.50	0.1356	5.46	0.0087	0.0011	0.1889
2	4.04	0.5669	0.0020	0.0171	0.1132	3.23	1.50	0.1423	5.67	0.0110	0.0009	0.1929
4	4.14	0.5684	0.0020	0.0164	0.1148	3.22	1.50	0.1393	5.62	0.0103	0.0010	0.1938
6	4.20	0.5673	0.0020	0.0163	0.1127	3.23	1.51	0.1401	5.54	0.0104	0.0010	0.1909
24	4.27	0.5674	0.0021	0.0136	0.1186	3.23	1.51	0.1380	5.51	0.0102	0.0008	0.1898

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	4.25	0.5672	0.0021	0.0174	0.1160	3.22	1.51	0.1420	5.56	0.0112	0.0011	0.1939
1	4.05	0.5676	0.0020	0.0175	0.1097	3.23	1.50	0.1377	5.48	0.0101	0.0009	0.1875
2	4.18	0.5695	0.0018	0.0159	0.1123	3.23	1.51	0.1365	5.40	0.0108	0.0010	0.1901
4	4.21	0.5671	0.0021	0.0164	0.1120	3.24	1.50	0.1412	5.37	0.0099	0.0009	0.1914
6	4.12	0.5671	0.0020	0.0158	0.1140	3.22	1.50	0.1388	5.59	0.0096	0.0010	0.1894
24	4.11	0.5685	0.0021	0.0136	0.1186	3.23	1.51	0.1366	5.53	0.0107	0.0011	0.1879

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.34	0.5125	0.0021	0.0188	0.1691	3.22	1.51	0.1346	6.02	0.0100	0.0028	0.1999
0.5	4.19	0.5681	0.0019	0.0171	0.1136	3.24	1.50	0.1354	5.33	0.0100	0.0009	0.1865
1	4.37	0.5667	0.0019	0.0169	0.1160	3.25	1.51	0.1414	5.57	0.0108	0.0013	0.1947
2	4.29	0.5681	0.0022	0.0170	0.1157	3.22	1.50	0.1415	5.47	0.0103	0.0010	0.1946
4	4.18	0.5673	0.0020	0.0164	0.1139	3.23	1.50	0.1385	5.44	0.0107	0.0011	0.1916
6	4.07	0.5693	0.0020	0.0157	0.1116	3.24	1.51	0.1353	5.32	0.0097	0.0011	0.1873
24	4.32	0.5665	0.0022	0.0143	0.1197	3.24	1.51	0.1397	5.52	0.0102	0.0012	0.1913

Paillis de cèdre : lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0028	0.2102
0.5	4.13	0.5666	0.0020	0.0174	0.1190	3.22	1.51	0.1411	4.97	0.0111	0.0005	0.1929
1	4.22	0.5652	0.0019	0.0174	0.1175	3.24	1.51	0.1428	5.07	0.0104	0.0007	0.1919
2	4.04	0.5670	0.0021	0.0166	0.1161	3.22	1.51	0.1408	5.06	0.0117	0.0007	0.1893
4	4.16	0.5663	0.0020	0.0160	0.1166	3.22	1.50	0.1408	4.93	0.0120	0.0008	0.1919
6	4.22	0.5659	0.0020	0.0152	0.1168	3.24	1.51	0.1413	4.97	0.0119	0.0008	0.1902
24	4.20	0.5723	0.0021	0.0119	0.1185	3.22	1.51	0.1438	4.89	0.0123	0.0004	0.1927

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0028	0.2102
0.5	4.20	0.5657	0.0021	0.0173	0.1192	3.22	1.50	0.1404	4.92	0.0106	0.0000	0.1910
1	4.22	0.5668	0.0019	0.0168	0.1174	3.23	1.50	0.1418	4.88	0.0109	0.0001	0.1924
2	4.24	0.5666	0.0021	0.0173	0.1177	3.24	1.50	0.1412	4.95	0.0117	0.0001	0.1916
4	4.16	0.5664	0.0022	0.0166	0.1194	3.22	1.50	0.1429	4.96	0.0116	0.0000	0.1930
6	4.22	0.5669	0.0020	0.0159	0.1185	3.23	1.51	0.1420	4.89	0.0120	0.0000	0.1895
24	4.24	0.5707	0.0021	0.0122	0.1178	3.24	1.51	0.1404	4.82	0.0120	0.0000	0.1883

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0003	0.2102
0.5	4.17	0.5667	0.0020	0.0168	0.1170	3.23	1.51	0.1386	4.85	0.0102	0.0000	0.1890
1	4.27	0.5670	0.0020	0.0170	0.1179	3.22	1.50	0.1416	4.91	0.0115	0.0000	0.1915
2	4.22	0.5664	0.0018	0.0161	0.1164	3.23	1.51	0.1395	4.95	0.0113	0.0000	0.1878
4	4.23	0.5655	0.0020	0.0160	0.1188	3.22	1.51	0.1430	4.97	0.0115	0.0000	0.1929
6	4.23	0.5673	0.0020	0.0159	0.1192	3.22	1.51	0.1434	4.93	0.0115	0.0000	0.1934
24	4.17	0.5697	0.0021	0.0116	0.1183	3.24	1.51	0.1442	4.92	0.0121	0.0000	0.1921

Écailles d'arachides : lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0028	0.2102
0.5	4.22	0.5674	0.0019	0.0169	0.0970	3.23	1.50	0.1317	5.70	0.0099	0.0000	0.1816
1	4.12	0.5692	0.0019	0.0175	0.0969	3.23	1.50	0.1326	5.75	0.0100	0.0000	0.1824
2	4.04	0.5674	0.0018	0.0171	0.0950	3.23	1.50	0.1308	5.72	0.0098	0.0000	0.1803
4	4.17	0.5705	0.0019	0.0162	0.0937	3.23	1.50	0.1283	5.54	0.0100	0.0000	0.1772
6	3.99	0.5695	0.0020	0.0164	0.0931	3.22	1.50	0.1283	5.44	0.0099	0.0000	0.1771
24	4.03	0.5695	0.0020	0.0148	0.0970	3.22	1.50	0.1305	5.51	0.0102	0.0000	0.1802

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0000	0.2102
0.5	4.06	0.5697	0.0018	0.0173	0.0929	3.22	1.51	0.1271	5.60	0.0094	0.0000	0.1767
1	4.12	0.5675	0.0018	0.0166	0.0944	3.24	1.51	0.1313	5.61	0.0090	0.0000	0.1820
2	4.06	0.5699	0.0020	0.0166	0.0936	3.23	1.51	0.1307	5.68	0.0101	0.0000	0.1812
4	4.06	0.5696	0.0020	0.0171	0.0947	3.22	1.51	0.1308	5.56	0.0106	0.0000	0.1826
6	3.99	0.5697	0.0019	0.0157	0.0931	3.22	1.51	0.1284	5.50	0.0091	0.0000	0.1794
24	4.09	0.5697	0.0019	0.0147	0.0954	3.22	1.51	0.1299	5.49	0.0099	0.0000	0.1800

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0028	0.2102
0.5	4.13	0.5695	0.0019	0.0172	0.0956	3.22	1.50	0.1291	5.45	0.0097	0.0000	0.1799
1	4.08	0.5702	0.0019	0.0169	0.0944	3.22	1.50	0.1294	5.54	0.0094	0.0000	0.1790
2	3.95	0.5699	0.0020	0.0164	0.0945	3.24	1.51	0.1267	5.38	0.0098	0.0000	0.1768
4	3.92	0.5683	0.0018	0.0163	0.0924	3.22	1.51	0.1256	5.41	0.0095	0.0000	0.1745
6	4.02	0.5684	0.0020	0.0163	0.0958	3.23	1.51	0.1297	5.59	0.0098	0.0000	0.1793
24	4.04	0.5723	0.0019	0.0146	0.0966	3.23	1.51	0.1292	5.47	0.0094	0.0000	0.1781

Pin gris et épinette : lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.177	3.07	1.438	0.1365	5.25	0.0118	0.0028	0.2102
0.5	4.25	0.5685	0.0020	0.0173	0.132	3.22	1.505	0.1325	4.88	0.0108	0.0013	0.1980
1	4.21	0.5681	0.0020	0.0169	0.131	3.23	1.507	0.1330	4.79	0.0102	0.0012	0.2020
2	4.16	0.5655	0.0020	0.0173	0.132	3.23	1.513	0.1342	4.74	0.0105	0.0011	0.2034
4	4.27	0.5677	0.0018	0.0168	0.133	3.22	1.511	0.1346	4.77	0.0105	0.0009	0.1989
6	4.12	0.5654	0.0018	0.0161	0.131	3.22	1.506	0.1334	4.78	0.0104	0.0008	0.1988
24	4.27	0.5678	0.0021	0.0153	0.133	3.22	1.504	0.1381	5.03	0.0109	0.0006	0.2055

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.41	0.5365	0.0024	0.0186	0.1773	3.07	1.44	0.1365	5.25	0.0118	0.0028	0.2102
0.5	4.19	0.5658	0.0019	0.0178	0.1354	3.23	1.50	0.1367	4.88	0.0098	0.0003	0.2008
1	4.26	0.5672	0.0020	0.0176	0.1356	3.23	1.50	0.1373	4.99	0.0101	0.0002	0.2038
2	4.32	0.5673	0.0020	0.0177	0.1392	3.24	1.50	0.1413	5.08	0.0112	0.0000	0.2067
4	4.35	0.5693	0.0019	0.0176	0.1371	3.23	1.50	0.1366	4.96	0.0108	0.0000	0.2021
6	4.23	0.5706	0.0021	0.0174	0.1385	3.23	1.51	0.1383	5.01	0.0101	0.0000	0.2036
24	4.26	0.5696	0.0019	0.0164	0.1371	3.23	1.51	0.1404	5.03	0.0108	0.0000	0.2051

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0028	0.2015
0.5	4.78	0.5020	0.0021	0.0184	0.1378	3.70	1.71	0.1468	5.36	0.0113	0.0000	0.2144
1	4.64	0.5675	0.0021	0.0177	0.1296	3.69	1.71	0.1415	5.03	0.0105	0.0000	0.2029
2	4.77	0.5653	0.0022	0.0176	0.1334	3.69	1.71	0.1462	5.33	0.0110	0.0000	0.2131
4	4.68	0.5676	0.0023	0.0173	0.1331	3.70	1.71	0.1453	5.39	0.0111	0.0000	0.2105
6	4.79	0.5680	0.0023	0.0179	0.1355	3.69	1.71	0.1484	5.31	0.0117	0.0000	0.2139
24	4.95	0.5651	0.0022	0.0176	0.1441	3.68	1.71	0.1534	5.68	0.0120	0.0000	0.2232

Paillis de cacao, traitement acide, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	5.29	0.5059	0.0026	0.0205	0.1919	3.68	1.71	0.1548	5.92	0.0119	0.0011	0.2193
0.5	4.73	0.5639	0.0021	0.0182	0.1060	3.69	1.71	0.1387	5.64	0.0107	0.0000	0.1916
1	4.64	0.5204	0.0019	0.0173	0.0978	3.70	1.71	0.1354	5.57	0.0108	0.0000	0.1915
2	4.62	0.5644	0.0019	0.0172	0.0880	3.69	1.71	0.1349	5.00	0.0114	0.0000	0.1838
4	4.56	0.5218	0.0020	0.0168	0.0929	3.70	1.71	0.1348	5.44	0.0107	0.0000	0.1882
6	4.69	0.5647	0.0020	0.0172	0.0895	3.71	1.71	0.1343	5.33	0.0108	0.0000	0.1888
24	4.79	0.5665	0.0020	0.0166	0.0942	3.70	1.71	0.1356	5.26	0.0108	0.0000	0.1926

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	5.29	0.5059	0.0026	0.0205	0.1919	3.68	1.71	0.1548	5.92	0.0119	0.0011	0.2193
0.5	4.73	0.5642	0.0022	0.0178	0.1035	3.70	1.71	0.1349	5.40	0.0112	0.0000	0.1926
1	4.64	0.5704	0.0021	0.0174	0.0903	3.69	1.71	0.1300	5.00	0.0106	0.0000	0.1845
2	4.66	0.5655	0.0020	0.0178	0.0888	3.70	1.71	0.1321	5.07	0.0115	0.0000	0.1869
4	4.70	0.5677	0.0020	0.0168	0.0874	3.70	1.71	0.1324	5.25	0.0107	0.0000	0.1874
6	4.63	0.5250	0.0020	0.0173	0.0845	3.69	1.71	0.1315	5.18	0.0101	0.0000	0.1854
24	4.75	0.5643	0.0020	0.0156	0.0941	3.70	1.71	0.1366	5.43	0.0109	0.0000	0.1930

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	5.29	0.5059	0.0026	0.0205	0.1919	3.68	1.71	0.1548	5.92	0.0119	0.0011	0.2193
0.5	4.69	0.5699	0.0021	0.0179	0.1022	3.69	1.71	0.1318	5.20	0.0104	0.0000	0.1881
1	4.70	0.5680	0.0022	0.0173	0.0927	3.70	1.71	0.1319	5.20	0.0106	0.0000	0.1881
2	4.70	0.5683	0.0020	0.0176	0.0896	3.69	1.71	0.1327	5.26	0.0097	0.0000	0.1878
4	4.69	0.5724	0.0021	0.0173	0.0877	3.69	1.71	0.1341	5.24	0.0108	0.0000	0.1867
6	4.71	0.5665	0.0020	0.0174	0.0886	3.70	1.71	0.1335	5.29	0.0102	0.0000	0.1882
24	4.73	0.5192	0.0021	0.0160	0.0928	3.71	1.71	0.1369	5.35	0.0118	0.0000	0.1921

Mousse de tourbe, traitement acide, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.54	0.6263	0.0022	0.0185	0.1195	3.46	1.59	0.1353	5.09	0.0114	0.0003	0.2010
1	4.59	0.6296	0.0023	0.0187	0.1183	3.45	1.59	0.1334	5.10	0.0110	0.0001	0.1986
2	4.46	0.5793	0.0023	0.0196	0.1193	3.46	1.59	0.1346	5.11	0.0113	0.0003	0.2000
4	4.42	0.6293	0.0021	0.0181	0.1187	3.45	1.59	0.1319	5.07	0.0107	0.0002	0.1964
6	4.59	0.6311	0.0022	0.0181	0.1186	3.44	1.59	0.1341	5.14	0.0114	0.0002	0.1985
24	4.50	0.6289	0.0023	0.0165	0.1282	3.44	1.58	0.1364	5.21	0.0115	0.0005	0.2014

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.60	0.6292	0.0022	0.0187	0.1192	3.45	1.58	0.1336	5.09	0.0116	0.0003	0.1965
1	4.63	0.6275	0.0022	0.0188	0.1190	3.45	1.58	0.1365	5.27	0.0115	0.0002	0.2001
2	4.55	0.6304	0.0021	0.0191	0.1186	3.44	1.59	0.1342	5.20	0.0110	0.0002	0.1998
4	4.36	0.6296	0.0020	0.0168	0.1140	3.46	1.59	0.1293	5.04	0.0112	0.0000	0.1936
6	4.51	0.6302	0.0021	0.0171	0.1189	3.45	1.59	0.1309	5.06	0.0112	0.0004	0.1975
24	4.56	0.6309	0.0022	0.0167	0.1280	3.46	1.59	0.1334	5.28	0.0117	0.0006	0.2001

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.63	0.6308	0.0021	0.0194	0.1183	3.45	1.59	0.1334	5.11	0.0109	0.0002	0.1961
1	4.60	0.6278	0.0024	0.0189	0.1166	3.46	1.59	0.1344	5.01	0.0109	0.0003	0.1961
2	4.63	0.6276	0.0021	0.0189	0.1195	3.45	1.58	0.1341	5.25	0.0107	0.0002	0.1990
4	4.56	0.6289	0.0020	0.0179	0.1179	3.44	1.59	0.1312	5.16	0.0106	0.0002	0.1944
6	4.49	0.6259	0.0021	0.0174	0.1200	3.46	1.59	0.1311	5.11	0.0111	0.0001	0.1957
24	4.70	0.6235	0.0022	0.0175	0.1362	3.44	1.59	0.1428	5.52	0.0120	0.0005	0.2126

Paillis de cèdre, traitement acide, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.77	0.5035	0.0022	0.0181	0.1512	3.69	1.71	0.1357	5.16	0.0110	0.0000	0.1971
1	4.77	0.4942	0.0022	0.0179	0.1500	3.69	1.71	0.1332	5.02	0.0110	0.0000	0.1945
2	4.77	0.5098	0.0022	0.0184	0.1519	3.70	1.71	0.1346	5.06	0.0113	0.0000	0.1960
4	4.71	0.4975	0.0021	0.0173	0.1475	3.70	1.71	0.1321	5.04	0.0102	0.0000	0.1917
6	4.62	0.5066	0.0021	0.0181	0.1496	3.71	1.71	0.1315	4.96	0.0108	0.0000	0.1901
24	4.68	0.5691	0.0019	0.0173	0.1416	3.69	1.71	0.1333	4.97	0.0110	0.0000	0.1927

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.73	0.5688	0.0023	0.0180	0.1476	3.71	1.71	0.1321	5.10	0.0107	0.0000	0.1923
1	4.71	0.5677	0.0021	0.0183	0.1479	3.70	1.71	0.1309	4.68	0.0107	0.0000	0.1913
2	4.73	0.5652	0.0022	0.0182	0.1504	3.69	1.71	0.1340	4.81	0.0110	0.0000	0.1945
4	4.70	0.5689	0.0022	0.0186	0.1479	3.70	1.71	0.1318	4.74	0.0112	0.0000	0.1899
6	4.74	0.5674	0.0023	0.0179	0.1484	3.70	1.71	0.1326	5.02	0.0105	0.0000	0.1897
24	4.69	0.5113	0.0021	0.0167	0.1400	3.69	1.71	0.1321	4.99	0.0105	0.0000	0.1930

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.64	0.5140	0.0022	0.0175	0.1467	3.70	1.71	0.1302	4.87	0.0104	0.0000	0.1924
1	4.59	0.5686	0.0021	0.0169	0.1456	3.69	1.71	0.1288	4.85	0.0101	0.0000	0.1870
2	4.74	0.5685	0.0021	0.0183	0.1512	3.69	1.71	0.1326	5.06	0.0113	0.0000	0.1961
4	4.56	0.4954	0.0020	0.0180	0.1466	3.69	1.71	0.1291	4.88	0.0105	0.0000	0.1885
6	4.70	0.4957	0.0019	0.0183	0.1515	3.70	1.72	0.1325	5.06	0.0106	0.0000	0.1934
24	4.78	0.5016	0.0022	0.0169	0.1457	3.69	1.71	0.1344	5.23	0.0110	0.0000	0.1979

Écailles d'arachides, traitement acide, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.73	0.4953	0.0023	0.0181	0.1362	3.70	1.71	0.1349	5.18	0.0102	0.0000	0.1964
1	4.82	0.4949	0.0022	0.0183	0.1330	3.70	1.71	0.1336	5.07	0.0109	0.0000	0.1949
2	4.75	0.4940	0.0023	0.0173	0.1351	3.69	1.71	0.1332	5.11	0.0103	0.0000	0.1986
4	4.73	0.5039	0.0021	0.0179	0.1338	3.69	1.71	0.1327	5.20	0.0108	0.0000	0.1964
6	4.87	0.5034	0.0021	0.0185	0.1357	3.69	1.71	0.1364	5.29	0.0110	0.0000	0.2020
24	4.72	0.5656	0.0022	0.0171	0.1280	3.70	1.71	0.1332	4.99	0.0107	0.0000	0.1931

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.79	0.5035	0.0021	0.0183	0.1383	3.70	1.71	0.1348	5.12	0.0112	0.0000	0.1975
1	4.80	0.5091	0.0023	0.0177	0.1374	3.70	1.71	0.1342	4.99	0.0106	0.0000	0.1957
2	4.69	0.5029	0.0020	0.0181	0.1353	3.70	1.71	0.1329	5.18	0.0103	0.0000	0.1936
4	4.72	0.5652	0.0020	0.0178	0.1357	3.69	1.71	0.1335	5.09	0.0109	0.0000	0.1952
6	4.76	0.5678	0.0021	0.0177	0.1341	3.69	1.71	0.1351	5.16	0.0107	0.0000	0.1960
24	4.78	0.5217	0.0023	0.0170	0.1303	3.68	1.71	0.1341	5.09	0.0106	0.0000	0.1967

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.81	0.5084	0.0022	0.0178	0.1390	3.69	1.71	0.1355	5.07	0.0102	0.0000	0.1964
1	4.75	0.4903	0.0021	0.0178	0.1379	3.69	1.71	0.1344	5.12	0.0106	0.0000	0.1945
2	4.70	0.4895	0.0022	0.0178	0.1353	3.68	1.71	0.1321	5.08	0.0111	0.0000	0.1939
4	4.71	0.4856	0.0021	0.0173	0.1327	3.70	1.71	0.1322	5.02	0.0101	0.0000	0.1925
6	4.62	0.4898	0.0022	0.0176	0.1323	3.69	1.71	0.1323	5.01	0.0105	0.0000	0.1924
24	4.80	0.5019	0.0022	0.0171	0.1296	3.68	1.71	0.1353	5.04	0.0114	0.0000	0.1969

Pin gris et épinette, traitement acide, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.63	0.5689	0.0023	0.0175	0.1384	3.69	1.71	0.1310	5.01	0.0109	0.0000	0.1876
1	4.67	0.4998	0.0022	0.0182	0.1437	3.69	1.71	0.1331	5.14	0.0096	0.0000	0.1905
2	4.70	0.5027	0.0021	0.0180	0.1435	3.69	1.71	0.1318	5.13	0.0104	0.0000	0.1930
4	4.66	0.5671	0.0021	0.0181	0.1439	3.70	1.71	0.1325	5.21	0.0107	0.0000	0.1948
6	4.76	0.5036	0.0022	0.0183	0.1445	3.70	1.71	0.1342	5.20	0.0115	0.0000	0.1989
24	4.84	0.4929	0.0022	0.0190	0.1589	3.71	1.71	0.1375	5.27	0.0114	0.0000	0.2007

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.73	0.4923	0.0022	0.0173	0.1443	3.69	1.71	0.1345	5.19	0.0113	0.0000	0.1958
1	4.77	0.5689	0.0021	0.0184	0.1422	3.70	1.71	0.1327	5.15	0.0110	0.0000	0.1944
2	4.74	0.5068	0.0021	0.0171	0.1415	3.69	1.71	0.1334	5.08	0.0107	0.0000	0.1924
4	4.72	0.5090	0.0021	0.0173	0.1419	3.68	1.71	0.1332	5.13	0.0106	0.0000	0.1931
6	4.69	0.4984	0.0022	0.0175	0.1409	3.70	1.71	0.1337	5.07	0.0100	0.0000	0.1941
24	4.62	0.5092	0.0019	0.0169	0.1471	3.70	1.71	0.1305	4.96	0.0111	0.0000	0.1899

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0011	0.2015
0.5	4.75	0.5071	0.0023	0.0186	0.1403	3.71	1.72	0.1353	5.12	0.0105	0.0000	0.1973
1	4.75	0.5673	0.0022	0.0176	0.1431	3.71	1.71	0.1322	5.10	0.0107	0.0000	0.1940
2	4.70	0.5095	0.0022	0.0176	0.1450	3.69	1.71	0.1348	5.23	0.0107	0.0000	0.1949
4	4.78	0.4986	0.0023	0.0176	0.1473	3.70	1.71	0.1359	5.29	0.0106	0.0000	0.1953
6	4.71	0.4991	0.0021	0.0173	0.1433	3.69	1.71	0.1328	5.05	0.0105	0.0000	0.1881
24	4.70	0.5010	0.0021	0.0180	0.1525	3.69	1.71	0.1311	5.09	0.0109	0.0000	0.1934

Paillis de cacao, traitement phosphate, lixivié de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.21	0.5932	0.0020	0.0167	0.0358	3.29	1.51	0.1417	5.73	0.0117	0.0000	0.1834
1	1.96	0.5956	0.0020	0.0163	0.0340	3.29	1.52	0.1406	5.73	0.0114	0.0000	0.1832
2	1.81	0.5955	0.0019	0.0152	0.0347	3.29	1.51	0.1386	5.73	0.0118	0.0000	0.1804
4	1.84	0.5959	0.0020	0.0144	0.0368	3.30	1.51	0.1329	5.78	0.0110	0.0000	0.1749
6	1.93	0.5939	0.0020	0.0129	0.0399	3.29	1.52	0.1324	5.76	0.0119	0.0000	0.1776
24	2.72	0.5959	0.0021	0.0091	0.0589	3.30	1.51	0.1418	5.76	0.0130	0.0000	0.1924

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.23	0.5945	0.0020	0.0166	0.0370	3.29	1.51	0.1401	5.73	0.0112	0.0000	0.1826
1	2.02	0.5964	0.0018	0.0161	0.0354	3.29	1.51	0.1376	5.72	0.0116	0.0000	0.1803
2	1.82	0.5974	0.0019	0.0156	0.0363	3.29	1.52	0.1341	5.76	0.0117	0.0000	0.1786
4	1.80	0.5972	0.0019	0.0133	0.0376	3.30	1.52	0.1291	5.78	0.0108	0.0000	0.1735
6	1.85	0.5980	0.0020	0.0124	0.0408	3.29	1.52	0.1278	5.78	0.0117	0.0000	0.1738
24	2.54	0.5972	0.0020	0.0086	0.0580	3.29	1.51	0.1341	5.76	0.0122	0.0000	0.1860

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.14	0.5951	0.0019	0.0161	0.0344	3.29	1.52	0.1382	5.74	0.0113	0.0000	0.1790
1	1.86	0.5952	0.0020	0.0156	0.0328	3.29	1.51	0.1360	5.74	0.0112	0.0000	0.1776
2	1.72	0.5968	0.0019	0.0139	0.0327	3.28	1.51	0.1285	5.77	0.0106	0.0000	0.1711
4	1.75	0.5970	0.0019	0.0132	0.0365	3.29	1.52	0.1277	5.81	0.0116	0.0000	0.1747
6	1.86	0.5967	0.0019	0.0124	0.0387	3.29	1.52	0.1287	5.80	0.0115	0.0000	0.1739
24	2.75	0.5965	0.0023	0.0089	0.0571	3.29	1.51	0.1358	5.76	0.0125	0.0000	0.1908

Mousse de tourbe, traitement phosphate, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.78	0.5970	0.0019	0.0156	0.0487	3.28	1.52	0.1293	5.73	0.0101	0.0000	0.1739
1	2.55	0.5970	0.0018	0.0147	0.0472	3.28	1.52	0.1324	5.76	0.0111	0.0000	0.1761
2	2.43	0.5973	0.0021	0.0133	0.0502	3.28	1.52	0.1325	5.75	0.0104	0.0000	0.1791
4	2.52	0.5951	0.0020	0.0114	0.0533	3.30	1.52	0.1349	5.74	0.0110	0.0000	0.1821
6	2.56	0.5967	0.0019	0.0090	0.0545	3.29	1.52	0.1324	5.74	0.0111	0.0000	0.1816
24	3.11	0.5956	0.0020	0.0033	0.0659	3.30	1.52	0.1347	5.76	0.0109	0.0000	0.1849

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.86	0.5969	0.0020	0.0152	0.0512	3.30	1.51	0.1313	5.74	0.0105	0.0000	0.1771
1	2.54	0.5967	0.0021	0.0141	0.0477	3.29	1.52	0.1319	5.76	0.0106	0.0000	0.1779
2	2.42	0.5950	0.0020	0.0129	0.0497	3.29	1.51	0.1316	5.73	0.0099	0.0000	0.1787
4	2.47	0.5954	0.0020	0.0112	0.0535	3.29	1.52	0.1335	5.74	0.0110	0.0000	0.1822
6	2.57	0.5965	0.0020	0.0087	0.0539	3.30	1.52	0.1299	5.77	0.0100	0.0000	0.1777
24	3.24	0.5977	0.0022	0.0032	0.0667	3.30	1.52	0.1386	5.73	0.0110	0.0000	0.1909

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	2.68	0.5950	0.0021	0.0152	0.0478	3.28	1.52	0.1305	5.75	0.0104	0.0000	0.1757
1	2.51	0.5965	0.0019	0.0142	0.0469	3.30	1.51	0.1288	5.76	0.0103	0.0000	0.1741
2	2.47	0.5948	0.0019	0.0134	0.0498	3.30	1.52	0.1328	5.73	0.0101	0.0000	0.1798
4	2.51	0.5956	0.0022	0.0108	0.0534	3.30	1.52	0.1332	5.73	0.0109	0.0000	0.1809
6	2.56	0.5962	0.0022	0.0089	0.0552	3.29	1.51	0.1310	5.76	0.0110	0.0000	0.1808
24	3.12	0.5967	0.0020	0.0034	0.0648	3.29	1.52	0.1343	5.75	0.0113	0.0000	0.1842

Paillis de cèdre, traitement phosphate, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	3.61	0.5641	0.0023	0.0193	0.1201	3.46	1.59	0.1531	6.18	0.0116	0.0000	0.2049
1	3.21	0.5706	0.0021	0.0179	0.1167	3.44	1.58	0.1486	6.17	0.0117	0.0000	0.1990
2	3.24	0.5704	0.0023	0.0189	0.1220	3.45	1.58	0.1508	6.17	0.0124	0.0000	0.2012
4	3.06	0.5721	0.0023	0.0175	0.1262	3.45	1.58	0.1498	6.18	0.0131	0.0000	0.2037
6	3.05	0.5742	0.0024	0.0181	0.1286	3.45	1.58	0.1504	6.18	0.0121	0.0000	0.2021
24	3.21	0.5846	0.0022	0.0149	0.1337	3.46	1.59	0.1491	6.21	0.0130	0.0000	0.2027

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	3.67	0.5732	0.0022	0.0187	0.1178	3.45	1.59	0.1494	6.19	0.0117	0.0000	0.1994
1	3.49	0.6270	0.0020	0.0192	0.1238	3.45	1.59	0.1538	6.20	0.0122	0.0000	0.2054
2	3.28	0.5787	0.0024	0.0190	0.1219	3.46	1.59	0.1506	6.19	0.0117	0.0000	0.2004
4	3.10	0.6235	0.0022	0.0178	0.1260	3.46	1.59	0.1480	6.17	0.0127	0.0000	0.1982
6	3.25	0.6260	0.0022	0.0181	0.1281	3.45	1.58	0.1498	6.20	0.0127	0.0000	0.2032
24	3.42	0.5825	0.0021	0.0160	0.1366	3.45	1.58	0.1504	6.18	0.0117	0.0000	0.2033

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	3.71	0.6268	0.0023	0.0197	0.1179	3.44	1.59	0.1516	6.19	0.0112	0.0000	0.2000
1	3.49	0.6252	0.0023	0.0184	0.1233	3.47	1.59	0.1523	6.20	0.0116	0.0000	0.2034
2	3.47	0.6265	0.0022	0.0185	0.1237	3.45	1.59	0.1518	6.18	0.0123	0.0000	0.2034
4	3.37	0.6248	0.0022	0.0183	0.1281	3.44	1.58	0.1540	6.18	0.0128	0.0000	0.2070
6	3.33	0.6258	0.0023	0.0181	0.1286	3.45	1.59	0.1494	6.18	0.0127	0.0000	0.2021
24	3.46	0.5851	0.0023	0.0159	0.1328	3.46	1.58	0.1457	6.20	0.0132	0.0000	0.2014

Écailles d'arachides, traitement phosphate, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.56	0.5807	0.0021	0.0186	0.1037	3.45	1.58	0.1387	6.31	0.0120	0.0000	0.1984
1	4.51	0.6267	0.0022	0.0188	0.1056	3.46	1.58	0.1381	6.31	0.0114	0.0000	0.1991
2	4.25	0.6298	0.0022	0.0180	0.1069	3.47	1.59	0.1377	6.31	0.0107	0.0000	0.1973
4	4.47	0.6288	0.0022	0.0179	0.1101	3.45	1.58	0.1384	6.31	0.0111	0.0000	0.2004
6	4.35	0.6289	0.0022	0.0175	0.1090	3.45	1.59	0.1384	6.31	0.0108	0.0000	0.1964
24	4.53	0.6269	0.0023	0.0157	0.1162	3.44	1.58	0.1416	6.30	0.0119	0.0000	0.2013

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.55	0.6272	0.0020	0.0188	0.1065	3.44	1.59	0.1395	6.32	0.0112	0.0000	0.1981
1	4.34	0.6276	0.0023	0.0187	0.1052	3.44	1.59	0.1380	6.32	0.0116	0.0000	0.1975
2	4.48	0.5759	0.0023	0.0184	0.1094	3.44	1.59	0.1398	6.31	0.0116	0.0000	0.2001
4	4.41	0.6280	0.0023	0.0181	0.1093	3.45	1.58	0.1393	6.31	0.0116	0.0000	0.1979
6	4.38	0.6250	0.0021	0.0175	0.1101	3.45	1.59	0.1377	6.32	0.0109	0.0000	0.1979
24	4.47	0.6297	0.0022	0.0145	0.1140	3.45	1.59	0.1371	6.32	0.0113	0.0000	0.1980

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.75	0.5802	0.0021	0.0190	0.1653	3.45	1.59	0.1327	5.14	0.0103	0.0013	0.2015
0.5	4.53	0.6294	0.0021	0.0180	0.1074	3.45	1.59	0.1378	6.30	0.0105	0.0000	0.1999
1	4.43	0.6273	0.0021	0.0185	0.1075	3.44	1.59	0.1380	6.33	0.0102	0.0000	0.1988
2	4.40	0.6264	0.0022	0.0185	0.1101	3.44	1.59	0.1406	6.30	0.0104	0.0000	0.2014
4	4.42	0.6284	0.0021	0.0178	0.1116	3.44	1.59	0.1386	6.32	0.0114	0.0000	0.1990
6	4.28	0.6245	0.0021	0.0177	0.1146	3.44	1.59	0.1395	6.31	0.0118	0.0000	0.2008
24	4.48	0.6307	0.0022	0.0151	0.1143	3.46	1.58	0.1370	6.30	0.0107	0.0000	0.1990

Pin gris et épinette, traitement phosphate, lixiviat de boues d'épuration

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	4.35	0.5958	0.0021	0.0177	0.1248	3.29	1.52	0.1353	5.98	0.0112	0.0000	0.1994
1	4.36	0.5955	0.0020	0.0173	0.1259	3.30	1.52	0.1337	6.00	0.0108	0.0000	0.1988
2	4.31	0.5961	0.0023	0.0173	0.1269	3.29	1.52	0.1358	5.98	0.0104	0.0000	0.1991
4	4.20	0.5937	0.0021	0.0175	0.1323	3.29	1.52	0.1363	5.97	0.0115	0.0000	0.2012
6	4.11	0.5969	0.0021	0.0163	0.1326	3.30	1.52	0.1347	5.98	0.0112	0.0000	0.2004
24	4.29	0.5959	0.0021	0.0152	0.1411	3.30	1.51	0.1362	5.98	0.0106	0.0000	0.2022

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	4.32	0.5944	0.0022	0.0177	0.1232	3.29	1.52	0.1355	5.98	0.0112	0.0000	0.1999
1	4.27	0.5949	0.0021	0.0171	0.1239	3.29	1.52	0.1341	5.98	0.0109	0.0000	0.2004
2	4.29	0.5966	0.0020	0.0181	0.1266	3.29	1.52	0.1334	6.00	0.0116	0.0000	0.1988
4	4.28	0.5955	0.0021	0.0167	0.1315	3.28	1.52	0.1340	5.98	0.0108	0.0000	0.1981
6	4.12	0.5964	0.0019	0.0166	0.1293	3.28	1.52	0.1325	5.99	0.0111	0.0000	0.1945
24	4.35	0.5933	0.0021	0.0154	0.1438	3.29	1.52	0.1353	5.99	0.0116	0.0000	0.2021

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	4.47	0.5943	0.0021	0.0182	0.1628	3.29	1.52	0.1305	5.05	0.0107	0.0010	0.1926
0.5	4.31	0.5961	0.0023	0.0175	0.1239	3.30	1.51	0.1344	5.99	0.0114	0.0000	0.1985
1	4.24	0.5954	0.0022	0.0177	0.1251	3.29	1.52	0.1331	5.97	0.0110	0.0000	0.1979
2	4.28	0.5960	0.0022	0.0172	0.1305	3.28	1.52	0.1350	5.97	0.0115	0.0000	0.2004
4	4.05	0.5966	0.0022	0.0168	0.1339	3.29	1.52	0.1339	5.97	0.0115	0.0000	0.1990
6	4.23	0.5966	0.0021	0.0171	0.1336	3.29	1.51	0.1325	5.98	0.0111	0.0000	0.1981
24	4.56	0.5786	0.0023	0.0164	0.1473	3.45	1.59	0.1402	6.30	0.0116	0.0000	0.2086

APPENDICE C :

Concentration en métaux dans le filtrat provenant du lixiviat
d'un sol contaminé, études cinétiques

Paillis de cacao : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao , sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0383	0.3179
0.5	0.4801	0.4796	0.0010	0.0004	0.0446	0.0857	1.54	0.2024	1.49	0.0085	0.0041	0.2750
1	0.4470	0.4841	0.0010	0.0006	0.0420	0.0764	1.54	0.1983	1.46	0.0081	0.0035	0.2728
2	0.4031	0.4882	0.0011	0.0005	0.0395	0.0640	1.54	0.1945	1.40	0.0084	0.0022	0.2652
4	0.3841	0.4846	0.0010	0.0006	0.0391	0.0545	1.54	0.1954	1.39	0.0084	0.0025	0.2683
6	0.3721	0.4900	0.0009	0.0002	0.0388	0.0484	1.54	0.1955	1.38	0.0084	0.0024	0.2675
24	0.2984	0.4976	0.0010	0.0006	0.0330	0.0350	1.54	0.1866	1.25	0.0086	0.0028	0.2561

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.8960	0.4730	0.0010	0.0002	0.1452	0.1362	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.8643	0.4668	0.0007	0.0005	0.1113	0.1314	1.69	0.2312	1.44	0.0082	0.0109	0.3667
1	0.8576	0.4709	0.0011	0.0008	0.1103	0.1308	1.69	0.2290	1.41	0.0083	0.0097	0.3631
2	0.8530	0.4692	0.0011	0.0006	0.1086	0.1295	1.70	0.2276	1.42	0.0079	0.0101	0.3606
4	0.8333	0.4674	0.0010	0.0008	0.1074	0.1289	1.70	0.2257	1.39	0.0079	0.0098	0.3559
6	0.8384	0.4675	0.0009	0.0005	0.1067	0.1285	1.70	0.2253	1.40	0.0084	0.0096	0.3559
24	0.8550	0.4650	0.0009	0.0008	0.1107	0.1260	1.70	0.2315	1.44	0.0080	0.0096	0.3675

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.1088	0.5083	0.0016	0.0003	0.0060	0.0043	1.68	0.1744	5.66	0.0035	0.0027	0.1463
1	0.0945	0.5143	0.0015	0.0004	0.0047	0.0034	1.68	0.1747	5.66	0.0034	0.0019	0.1394
2	0.0871	0.5161	0.0014	0.0003	0.0041	0.0030	1.68	0.1719	5.76	0.0033	0.0022	0.1357
4	0.0776	0.5197	0.0014	0.0002	0.0035	0.0030	1.68	0.1697	5.77	0.0033	0.0013	0.1320
6	0.0813	0.5201	0.0013	0.0002	0.0031	0.0030	1.68	0.1678	5.77	0.0034	0.0018	0.1308
24	0.0904	0.5349	0.0012	0.0002	0.0025	0.0036	1.68	0.1553	5.80	0.0028	0.0018	0.1157

Mousse de tourbe : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0363	0.3179
0.5	0.7452	0.4871	0.0011	0.0003	0.0732	0.1123	1.58	0.2061	1.82	0.0066	0.0255	0.3133
1	0.7322	0.4844	0.0011	0.0003	0.0690	0.1119	1.58	0.2020	1.76	0.0067	0.0251	0.3072
2	0.7315	0.4866	0.0011	0.0006	0.0674	0.1166	1.58	0.2054	1.78	0.0066	0.0252	0.3111
4	0.7235	0.4807	0.0010	0.0003	0.0665	0.1205	1.58	0.2066	1.81	0.0066	0.0250	0.3114
6	0.7361	0.4874	0.0011	0.0004	0.0667	0.1233	1.62	0.2096	1.86	0.0067	0.0254	0.3133
24	0.7300	0.4877	0.0010	0.0002	0.0646	0.1239	1.63	0.2086	1.84	0.0069	0.0245	0.3146

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.0138	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.8739	0.4647	0.0008	0.0006	0.0860	0.1311	1.70	0.2179	1.38	0.0057	0.0307	0.3423
1	0.8680	0.4672	0.0008	0.0004	0.0850	0.1294	1.69	0.2167	1.37	0.0062	0.0307	0.3436
2	0.8289	0.4633	0.0009	0.0004	0.0848	0.1262	1.69	0.2170	1.36	0.0057	0.0308	0.3449
4	0.8079	0.4611	0.0009	0.0005	0.0849	0.1245	1.70	0.2164	1.36	0.0067	0.0311	0.3440
6	0.7986	0.4722	0.0008	0.0007	0.0856	0.1221	1.69	0.2150	1.35	0.0055	0.0310	0.3410
24	0.8074	0.4637	0.0011	0.0006	0.0906	0.1173	1.69	0.2257	1.43	0.0075	0.0321	0.3593

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0003	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.0906	0.5295	0.0008	0.0001	0.0054	0.0102	1.75	0.1762	5.74	0.0031	0.0010	0.2113
1	0.0799	0.5216	0.0007	0.0001	0.0048	0.0070	1.75	0.1790	5.73	0.0028	0.0007	0.2130
2	0.0718	0.5272	0.0008	0.0000	0.0043	0.0053	1.75	0.1796	5.76	0.0025	0.0007	0.2140
4	0.0626	0.5253	0.0008	0.0000	0.0038	0.0037	1.75	0.1783	5.76	0.0029	0.0005	0.2136
6	0.0600	0.5250	0.0008	-0.0002	0.0035	0.0034	1.75	0.1794	5.77	0.0028	0.0007	0.2152
24	0.0530	0.5231	0.0007	0.0002	0.0032	0.0024	1.75	0.1791	5.74	0.0032	0.0002	0.2165

Paillis de cèdre : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0363	0.3179
0.5	0.8040	0.5093	0.0012	0.0000	0.0943	0.1069	1.67	0.2239	1.43	0.0085	0.0240	0.3368
1	0.7964	0.5106	0.0012	0.0001	0.0927	0.1065	1.66	0.2248	1.42	0.0085	0.0230	0.3340
2	0.7844	0.5156	0.0011	0.0000	0.0909	0.1071	1.67	0.2234	1.38	0.0092	0.0223	0.3279
4	0.7989	0.5138	0.0012	0.0001	0.0921	0.1132	1.67	0.2296	1.40	0.0092	0.0226	0.3329
6	0.7850	0.5156	0.0012	0.0001	0.0905	0.1169	1.67	0.2279	1.38	0.0091	0.0216	0.3290
24	0.8167	0.5163	0.0012	0.0000	0.0925	0.1444	1.67	0.2347	1.43	0.0095	0.0217	0.3368

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.8960	0.4730	0.0010	0.0002	0.1452	0.1362	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.8733	0.5352	0.0011	0.0005	0.1267	0.1341	1.70	0.2280	1.37	0.0080	0.0346	0.3647
1	0.8633	0.5365	0.0010	0.0001	0.1257	0.1309	1.70	0.2251	1.35	0.0075	0.0334	0.3591
2	0.8648	0.5372	0.0011	0.0006	0.1260	0.1317	1.69	0.2270	1.35	0.0081	0.0340	0.3604
4	0.8477	0.5613	0.0010	0.0002	0.1244	0.1289	1.70	0.2241	1.33	0.0078	0.0323	0.3553
6	0.8494	0.5604	0.0012	0.0005	0.1250	0.1299	1.70	0.2237	1.34	0.0080	0.0321	0.3565
24	0.8600	0.5614	0.0010	0.0005	0.1269	0.1300	1.70	0.2261	1.36	0.0082	0.0313	0.3605

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.0254	0.6021	0.0010	0.0000	0.0131	0.0022	1.67	0.1810	5.96	0.0048	0.0002	0.1211
1	0.0184	0.6000	0.0010	0.0000	0.0105	0.0018	1.67	0.1765	5.96	0.0053	0.0003	0.1028
2	0.0353	0.6023	0.0010	0.0000	0.0088	0.0033	1.67	0.1725	5.96	0.0049	0.0008	0.0875
4	0.0453	0.5790	0.0009	0.0000	0.0079	0.0041	1.67	0.1703	5.98	0.0055	0.0011	0.0790
6	0.0325	0.6011	0.0009	0.0000	0.0070	0.0030	1.67	0.1691	5.98	0.0054	0.0005	0.0737
24	0.0208	0.6030	0.0008	0.0000	0.0056	0.0025	1.67	0.1648	5.97	0.0048	0.0000	0.0621

Écailles d'arachides : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.205	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6823	0.5991	0.0013	0.0000	0.0583	0.0915	1.67	0.209	2.29	0.0064	0.0076	0.3054
1	0.6776	0.6014	0.0012	0.0000	0.0569	0.0900	1.67	0.208	2.25	0.0063	0.0060	0.3028
2	0.6770	0.5981	0.0013	0.0000	0.0560	0.0900	1.67	0.210	2.27	0.0052	0.0066	0.3043
4	0.6702	0.5748	0.0013	0.0000	0.0552	0.0867	1.66	0.208	2.26	0.0065	0.0071	0.3027
6	0.6631	0.5984	0.0012	0.0000	0.0543	0.0840	1.67	0.208	2.26	0.0062	0.0058	0.3004
24	0.6532	0.6003	0.0012	0.0000	0.0525	0.0785	1.67	0.206	2.24	0.0061	0.0054	0.2998

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.8960	0.4730	0.0010	0.0002	0.1452	0.1362	1.70	0.237	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.8494	0.4674	0.0010	0.0002	0.1221	0.1269	1.70	0.226	1.38	0.0068	0.0214	0.3593
1	0.8580	0.4671	0.0011	0.0002	0.1217	0.1279	1.70	0.227	1.37	0.0075	0.0201	0.3624
2	0.8528	0.4699	0.0010	0.0002	0.1215	0.1269	1.70	0.226	1.37	0.0077	0.0197	0.3597
4	0.8522	0.4799	0.0010	0.0003	0.1193	0.1272	1.70	0.226	1.37	0.0046	0.0189	0.3607
6	0.8529	0.4751	0.0010	0.0004	0.1185	0.1266	1.70	0.225	1.36	0.0075	0.0189	0.3614
24	0.8685	0.4691	0.0012	0.0005	0.1224	0.1284	1.70	0.232	1.41	0.0079	0.0176	0.3698

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.0138	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.233	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.9399	0.5152	0.0010	0.0008	0.0770	0.1336	1.75	0.230	6.00	0.0063	0.0135	0.3516
1	0.9209	0.5097	0.0007	0.0006	0.0732	0.1316	1.75	0.228	6.00	0.0052	0.0117	0.3483
2	0.9035	0.5013	0.0010	0.0008	0.0703	0.1285	1.75	0.227	6.01	0.0058	0.0118	0.3467
4	0.9005	0.5164	0.0009	0.0007	0.0692	0.1281	1.75	0.229	6.02	0.0059	0.0111	0.3453
6	0.9146	0.5100	0.0006	0.0006	0.0687	0.1274	1.75	0.232	6.01	0.0051	0.0111	0.3524
24	0.9164	0.5095	0.0007	0.0005	0.0677	0.1220	1.75	0.234	6.00	0.0059	0.0102	0.3539

Pin gris et épinette : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, sans traitement

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6928	0.5487	0.0013	0.0000	0.0783	0.0867	1.67	0.2093	1.38	0.0063	0.0132	0.3263
1	0.6934	0.5162	0.0012	0.0000	0.0776	0.0866	1.67	0.2098	1.38	0.0063	0.0135	0.3287
2	0.6827	0.5437	0.0013	0.0000	0.0764	0.0866	1.67	0.2088	1.38	0.0065	0.0112	0.3249
4	0.6896	0.5549	0.0013	0.0000	0.0766	0.0884	1.67	0.2106	1.40	0.0066	0.0105	0.3284
6	0.6905	0.5523	0.0013	0.0000	0.0765	0.0893	1.67	0.2108	1.39	0.0066	0.0105	0.3273
24	0.7178	0.5242	0.0013	0.0000	0.0800	0.0973	1.67	0.2224	1.47	0.0067	0.0113	0.3424

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.0138	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.9888	0.5019	0.0009	0.0009	0.1283	0.1478	1.75	0.2257	1.40	0.0051	0.0246	0.3603
1	0.9776	0.5119	0.0009	0.0009	0.1263	0.1483	1.75	0.2234	1.38	0.0061	0.0236	0.3566
2	0.9617	0.5087	0.0010	0.0007	0.1252	0.1458	1.75	0.2205	1.36	0.0068	0.0221	0.3507
4	0.9758	0.5092	0.0008	0.0008	0.1256	0.1458	1.75	0.2219	1.37	0.0068	0.0219	0.3551
6	0.9844	0.5145	0.0009	0.0009	0.1260	0.1475	1.75	0.2234	1.38	0.0066	0.0211	0.3569
24	1.0027	0.5106	0.0009	0.0009	0.1295	0.1497	1.75	0.2278	1.41	0.0070	0.0219	0.3635

Concentration moyenne (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6641	0.5167	0.0014	0.0008	0.0944	0.0925	1.68	0.2019	2.92	0.0057	0.0239	0.3110
0.5	0.6175	0.5071	0.0008	0.0006	0.0663	0.0794	1.68	0.2001	6.05	0.0045	0.0080	0.3083
1	0.6091	0.5070	0.0006	0.0004	0.0659	0.0782	1.68	0.2005	6.04	0.0042	0.0077	0.3061
2	0.5936	0.5152	0.0007	0.0007	0.0645	0.0755	1.68	0.1965	6.05	0.0043	0.0069	0.3040
4	0.6114	0.5184	0.0009	0.0005	0.0642	0.0750	1.71	0.1984	6.03	0.0044	0.0070	0.3079
6	0.6062	0.5422	0.0009	0.0009	0.0637	0.0750	1.71	0.1991	6.04	0.0044	0.0068	0.3059
24	0.4083	0.3739	0.0007	0.0001	0.0420	0.0513	1.14	0.1339	4.02	0.0034	0.0050	0.2072

Paillis de cacao : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0383	0.3179
0.5	0.4814	0.4707	0.0011	0.0004	0.0463	0.0877	1.54	0.2065	1.60	0.0086	0.0042	0.2810
1	0.4523	0.4842	0.0011	0.0007	0.0430	0.0777	1.54	0.2013	1.53	0.0081	0.0029	0.2758
2	0.4051	0.4782	0.0011	0.0004	0.0400	0.0643	1.54	0.1954	1.42	0.0084	0.0019	0.2659
4	0.3871	0.4856	0.0010	0.0005	0.0397	0.0552	1.54	0.1983	1.44	0.0080	0.0018	0.2708
6	0.3809	0.4842	0.0009	0.0001	0.0396	0.0487	1.54	0.1990	1.42	0.0081	0.0021	0.2704
24	0.2989	0.4992	0.0011	0.0009	0.0329	0.0357	1.54	0.1871	1.25	0.0088	0.0026	0.2548

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0383	0.3179
0.5	0.4777	0.4811	0.0010	0.0005	0.0436	0.0846	1.54	0.2002	1.45	0.0082	0.0043	0.2717
1	0.4502	0.4861	0.0009	0.0009	0.0417	0.0760	1.54	0.1979	1.40	0.0082	0.0025	0.2727
2	0.4065	0.4984	0.0011	0.0003	0.0392	0.0638	1.54	0.1926	1.41	0.0083	0.0031	0.2650
4	0.3788	0.4878	0.0010	0.0004	0.0385	0.0536	1.54	0.1925	1.37	0.0085	0.0030	0.2654
6	0.3651	0.4900	0.0009	0.0000	0.0378	0.0472	1.54	0.1906	1.35	0.0083	0.0027	0.2636
24	0.2995	0.4956	0.0010	0.0005	0.0328	0.0341	1.54	0.1850	1.23	0.0086	0.0035	0.2549

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0383	0.3179
0.5	0.4813	0.4870	0.0010	0.0003	0.0439	0.0849	1.54	0.2006	1.42	0.0086	0.0040	0.2723
1	0.4387	0.4819	0.0010	0.0002	0.0413	0.0757	1.54	0.1957	1.45	0.0080	0.0049	0.2698
2	0.3977	0.4879	0.0011	0.0009	0.0393	0.0640	1.54	0.1955	1.36	0.0087	0.0017	0.2647
4	0.3865	0.4803	0.0009	0.0009	0.0390	0.0547	1.54	0.1954	1.37	0.0087	0.0027	0.2688
6	0.3703	0.4957	0.0010	0.0004	0.0391	0.0493	1.54	0.1969	1.37	0.0089	0.0026	0.2685
24	0.2988	0.4981	0.0009	0.0005	0.0333	0.0351	1.54	0.1877	1.26	0.0082	0.0023	0.2586

Mousse de tourbe : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0363	0.3179
0.5	0.7240	0.4842	0.0011	0.0000	0.0711	0.1102	1.54	0.2023	1.75	0.0068	0.0247	0.3077
1	0.6888	0.4786	0.0010	0.0005	0.0655	0.1072	1.54	0.1946	1.67	0.0067	0.0238	0.2952
2	0.7013	0.4722	0.0011	0.0010	0.0656	0.1128	1.54	0.1994	1.68	0.0069	0.0251	0.3013
4	0.6876	0.4687	0.0010	0.0005	0.0651	0.1161	1.55	0.2007	1.70	0.0066	0.0238	0.3041
6	0.6724	0.4744	0.0010	0.0008	0.0629	0.1152	1.54	0.1947	1.69	0.0069	0.0244	0.2925
24	0.6791	0.4713	0.0010	0.0006	0.0620	0.1179	1.54	0.1974	1.70	0.0074	0.0240	0.2998

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0363	0.3179
0.5	0.7088	0.4721	0.0010	0.0005	0.0710	0.1080	1.54	0.1988	1.76	0.0066	0.0243	0.3023
1	0.7118	0.4779	0.0009	0.0004	0.0673	0.1089	1.54	0.1951	1.69	0.0074	0.0241	0.2991
2	0.7064	0.4770	0.0011	0.0003	0.0671	0.1141	1.54	0.1999	1.69	0.0066	0.0250	0.3026
4	0.6995	0.4755	0.0011	0.0003	0.0656	0.1176	1.54	0.1998	1.74	0.0065	0.0250	0.3030
6	0.7619	0.5124	0.0012	0.0000	0.0689	0.1262	1.66	0.2154	1.92	0.0069	0.0270	0.3188
24	0.7419	0.5139	0.0012	0.0000	0.0665	0.1248	1.67	0.2118	1.88	0.0072	0.0243	0.3188

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0069	0.0363	0.3179
0.5	0.8028	0.5051	0.0012	0.0003	0.0774	0.1188	1.66	0.2173	1.94	0.0063	0.0277	0.3298
1	0.7960	0.4967	0.0013	0.0000	0.0742	0.1195	1.66	0.2162	1.92	0.0061	0.0273	0.3274
2	0.7868	0.5106	0.0012	0.0005	0.0696	0.1228	1.66	0.2168	1.96	0.0064	0.0256	0.3295
4	0.7835	0.4978	0.0011	0.0000	0.0688	0.1279	1.66	0.2193	2.00	0.0068	0.0262	0.3273
6	0.7740	0.5054	0.0012	0.0003	0.0684	0.1284	1.66	0.2188	1.98	0.0064	0.0247	0.3285
24	0.7690	0.5079	0.0008	0.0000	0.0654	0.1290	1.67	0.2166	1.94	0.0061	0.0252	0.3251

Paillis de cèdre : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0089	0.0383	0.3179
0.5	0.8188	0.5088	0.0012	0.0000	0.0964	0.1093	1.67	0.2277	1.45	0.0089	0.0245	0.3444
1	0.8033	0.5033	0.0011	0.0001	0.0933	0.1071	1.66	0.2260	1.43	0.0090	0.0228	0.3387
2	0.7866	0.5103	0.0011	0.0000	0.0911	0.1070	1.67	0.2246	1.41	0.0098	0.0221	0.3264
4	0.7925	0.4978	0.0012	0.0002	0.0912	0.1131	1.67	0.2289	1.39	0.0089	0.0221	0.3324
6	0.7843	0.5033	0.0012	0.0000	0.0908	0.1174	1.67	0.2284	1.38	0.0090	0.0218	0.3297
24	0.7756	0.5216	0.0012	0.0001	0.0875	0.1404	1.67	0.2242	1.34	0.0091	0.0203	0.3213

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0089	0.0383	0.3179
0.5	0.7903	0.5107	0.0012	0.0000	0.0929	0.1053	1.67	0.2216	1.42	0.0086	0.0237	0.3326
1	0.7942	0.5061	0.0012	0.0000	0.0923	0.1056	1.66	0.2236	1.43	0.0083	0.0230	0.3343
2	0.7836	0.5157	0.0012	0.0000	0.0907	0.1070	1.66	0.2228	1.38	0.0086	0.0224	0.3294
4	0.8022	0.5236	0.0011	0.0000	0.0920	0.1127	1.67	0.2304	1.39	0.0096	0.0229	0.3336
6	0.7809	0.5205	0.0011	0.0002	0.0899	0.1147	1.67	0.2281	1.37	0.0092	0.0215	0.3269
24	0.8742	0.5061	0.0014	0.0000	0.0988	0.1517	1.67	0.2507	1.52	0.0105	0.0234	0.3579

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7224	0.4724	0.0011	0.0005	0.1214	0.1122	1.54	0.1992	1.36	0.0089	0.0383	0.3179
0.5	0.8029	0.5103	0.0012	0.0000	0.0936	0.1061	1.66	0.2223	1.41	0.0080	0.0238	0.3335
1	0.7917	0.5224	0.0013	0.0001	0.0924	0.1067	1.67	0.2249	1.41	0.0084	0.0233	0.3290
2	0.7831	0.5208	0.0012	0.0000	0.0908	0.1072	1.67	0.2228	1.36	0.0092	0.0225	0.3279
4	0.8020	0.5198	0.0012	0.0000	0.0931	0.1139	1.67	0.2295	1.42	0.0090	0.0228	0.3326
6	0.7897	0.5230	0.0012	0.0000	0.0908	0.1184	1.66	0.2283	1.39	0.0091	0.0215	0.3305
24	0.8002	0.5212	0.0012	0.0000	0.0912	0.1411	1.67	0.2291	1.41	0.0090	0.0213	0.3312

Écailles d'arachides : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6695	0.6009	0.0012	0.0000	0.0582	0.0900	1.67	0.2067	2.29	0.0059	0.0076	0.3025
1	0.6623	0.6042	0.0012	0.0000	0.0566	0.0892	1.67	0.2068	2.23	0.0064	0.0047	0.2985
2	0.6720	0.5982	0.0013	0.0000	0.0560	0.0891	1.66	0.2095	2.25	0.0066	0.0076	0.3036
4	0.6682	0.5229	0.0012	0.0000	0.0552	0.0873	1.66	0.2063	2.28	0.0068	0.0063	0.3003
6	0.6551	0.6016	0.0012	0.0000	0.0544	0.0840	1.67	0.2061	2.22	0.0062	0.0047	0.2981
24	0.6523	0.6006	0.0012	0.0000	0.0531	0.0792	1.67	0.2070	2.27	0.0064	0.0058	0.3000

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6920	0.5986	0.0012	0.0000	0.0584	0.0924	1.66	0.2108	2.33	0.0069	0.0070	0.3079
1	0.6785	0.5995	0.0012	0.0000	0.0555	0.0893	1.67	0.2079	2.25	0.0059	0.0076	0.3016
2	0.6918	0.5993	0.0014	0.0000	0.0559	0.0925	1.67	0.2134	2.32	0.0021	0.0065	0.3079
4	0.6709	0.6018	0.0013	0.0000	0.0544	0.0862	1.66	0.2084	2.26	0.0068	0.0071	0.3011
6	0.6565	0.5969	0.0012	0.0000	0.0530	0.0831	1.67	0.2079	2.25	0.0061	0.0059	0.2979
24	0.6504	0.5993	0.0012	0.0000	0.0518	0.0779	1.67	0.2073	2.27	0.0059	0.0063	0.3003

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6855	0.5978	0.0014	0.0000	0.0563	0.0921	1.66	0.2099	2.27	0.0064	0.0080	0.3058
1	0.6919	0.6005	0.0012	0.0000	0.0586	0.0914	1.66	0.2092	2.28	0.0066	0.0058	0.3083
2	0.6673	0.5968	0.0013	0.0000	0.0560	0.0883	1.67	0.2064	2.24	0.0070	0.0057	0.3014
4	0.6714	0.5999	0.0013	0.0000	0.0561	0.0868	1.66	0.2083	2.25	0.0060	0.0078	0.3069
6	0.6776	0.5966	0.0013	0.0000	0.0554	0.0850	1.66	0.2093	2.29	0.0062	0.0069	0.3054
24	0.6570	0.6010	0.0013	0.0000	0.0525	0.0785	1.67	0.2044	2.19	0.0059	0.0041	0.2991

Pin gris et épinette : lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6942	0.5253	0.0014	0.0000	0.0775	0.0864	1.67	0.2084	1.37	0.0059	0.0123	0.3268
1	0.6914	0.5228	0.0011	0.0000	0.0772	0.0866	1.67	0.2086	1.38	0.0063	0.0135	0.3266
2	0.6688	0.5233	0.0012	0.0000	0.0747	0.0860	1.67	0.2064	1.36	0.0067	0.0101	0.3234
4	0.6906	0.6033	0.0013	0.0000	0.0764	0.0884	1.67	0.2095	1.41	0.0066	0.0104	0.3278
6	0.6869	0.5312	0.0013	0.0000	0.0754	0.0881	1.67	0.2074	1.40	0.0069	0.0104	0.3274
24	0.6824	0.5186	0.0013	0.0000	0.0747	0.0935	1.67	0.2103	1.39	0.0066	0.0103	0.3259

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6942	0.5194	0.0013	0.0000	0.0791	0.0879	1.67	0.2118	1.40	0.0070	0.0140	0.3249
1	0.7023	0.4898	0.0011	0.0000	0.0788	0.0880	1.67	0.2134	1.42	0.0065	0.0135	0.3326
2	0.6925	0.5110	0.0012	0.0000	0.0775	0.0873	1.67	0.2101	1.38	0.0064	0.0110	0.3285
4	0.6868	0.5295	0.0014	0.0000	0.0770	0.0880	1.67	0.2105	1.39	0.0062	0.0102	0.3282
6	0.6902	0.5289	0.0013	0.0000	0.0773	0.0890	1.66	0.2112	1.39	0.0065	0.0100	0.3298
24	0.7222	0.5275	0.0013	0.0000	0.0827	0.0983	1.66	0.2267	1.50	0.0067	0.0108	0.3494

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.2050	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.6901	0.6015	0.0012	0.0000	0.0784	0.0858	1.67	0.2076	1.38	0.0060	0.0134	0.3272
1	0.6866	0.5361	0.0013	0.0000	0.0768	0.0851	1.67	0.2074	1.35	0.0062	0.0135	0.3270
2	0.6869	0.5967	0.0014	0.0000	0.0771	0.0866	1.67	0.2098	1.39	0.0062	0.0125	0.3229
4	0.6915	0.5320	0.0014	0.0000	0.0764	0.0887	1.67	0.2118	1.39	0.0070	0.0111	0.3294
6	0.6944	0.5967	0.0013	0.0000	0.0768	0.0908	1.67	0.2138	1.39	0.0064	0.0110	0.3246
24	0.7488	0.5265	0.0015	0.0000	0.0826	0.1000	1.66	0.2303	1.52	0.0067	0.0127	0.3518

Paillis de cacao, traitement acide, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.90	0.47	0.00	0.00	0.15	0.14	1.70	0.24	1.39	0.01	0.05	0.38
0.5	0.89	0.46	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.24	1.47	0.01	0.01	0.38
1	0.86	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.40	0.01	0.01	0.37
2	0.84	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.23	1.40	0.01	0.01	0.35
4	0.82	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.23	1.39	0.01	0.01	0.36
6	0.84	0.46	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.42	0.01	0.01	0.36
24	0.86	0.46	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.23	1.45	0.01	0.01	0.37

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.90	0.47	0.00	0.00	0.15	0.14	1.70	0.24	1.39	0.01	0.05	0.38
0.5	0.85	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.23	1.43	0.01	0.01	0.36
1	0.87	0.49	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.42	0.01	0.01	0.37
2	0.87	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.23	1.46	0.01	0.01	0.37
4	0.83	0.46	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.22	1.38	0.01	0.01	0.35
6	0.83	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.70	0.22	1.38	0.00	0.01	0.35
24	0.83	0.46	0.00	0.00	0.11	0.12	1.70	0.23	1.38	0.01	0.01	0.36

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.90	0.47	0.00	0.00	0.15	0.14	1.70	0.24	1.39	0.01	0.05	0.38
0.5	0.86	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.43	0.01	0.01	0.36
1	0.84	0.46	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.41	0.01	0.01	0.36
2	0.85	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.41	0.01	0.01	0.36
4	0.84	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.23	1.41	0.01	0.01	0.36
6	0.84	0.47	0.00	0.00	0.11	0.12	1.70	0.22	1.39	0.01	0.01	0.35
24	0.87	0.47	0.00	0.00	0.11	0.13	1.69	0.24	1.47	0.01	0.01	0.38

Mousse de tourbe, traitement acide, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.0138	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.8857	0.4537	0.0006	0.0006	0.0865	0.1328	1.69	0.2194	1.39	0.0066	0.0315	0.3450
1	0.8690	0.4637	0.0010	0.0006	0.0846	0.1295	1.70	0.2163	1.40	0.0061	0.0314	0.3428
2	0.8309	0.4467	0.0010	0.0005	0.0855	0.1268	1.69	0.2173	1.38	0.0067	0.0300	0.3454
4	0.8148	0.4480	0.0008	0.0008	0.0852	0.1251	1.69	0.2173	1.38	0.0073	0.0307	0.3447
6	0.8132	0.4516	0.0008	0.0006	0.0869	0.1241	1.70	0.2183	1.39	0.0062	0.0308	0.3474
24	0.8684	0.4205	0.0012	0.0005	0.0976	0.1243	1.69	0.2389	1.54	0.0078	0.0346	0.3785

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.0138	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.8789	0.4474	0.0008	0.0008	0.0862	0.1312	1.70	0.2200	1.38	0.0063	0.0312	0.3445
1	0.8595	0.4542	0.0006	0.0003	0.0856	0.1305	1.69	0.2183	1.38	0.0059	0.0314	0.3473
2	0.8328	0.4485	0.0008	0.0004	0.0847	0.1267	1.69	0.2189	1.37	0.0061	0.0311	0.3471
4	0.8134	0.4537	0.0009	0.0005	0.0853	0.1253	1.69	0.2178	1.36	0.0070	0.0315	0.3450
6	0.7897	0.4815	0.0006	0.0007	0.0851	0.1214	1.69	0.2135	1.34	0.0041	0.0317	0.3347
24	0.7882	0.4778	0.0011	0.0007	0.0880	0.1149	1.70	0.2207	1.39	0.0074	0.0321	0.3503

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.0138	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.8570	0.4929	0.0009	0.0005	0.0852	0.1293	1.69	0.2144	1.35	0.0041	0.0283	0.3373
1	0.8454	0.4838	0.0007	0.0003	0.0849	0.1282	1.70	0.2154	1.33	0.0066	0.0285	0.3413
2	0.8230	0.4948	0.0009	0.0003	0.0840	0.1252	1.69	0.2148	1.33	0.0044	0.0312	0.3420
4	0.7955	0.4816	0.0008	0.0004	0.0841	0.1232	1.70	0.2140	1.34	0.0058	0.0312	0.3421
6	0.7929	0.4833	0.0011	0.0008	0.0848	0.1207	1.69	0.2132	1.31	0.0062	0.0304	0.3409
24	0.7656	0.4928	0.0009	0.0007	0.0861	0.1126	1.69	0.2173	1.35	0.0073	0.0287	0.3492

Paillis de cèdre, traitement acide, lixivié d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.89599	0.47298	0.00098	0.00023	0.14517	0.13621	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.89928	0.48298	0.00112	0.00039	0.12700	0.13561	1.70	0.2282	1.36	0.0083	0.0353	0.3638
1	0.85856	0.48673	0.00111	0.00000	0.12408	0.12998	1.70	0.2221	1.33	0.0084	0.0337	0.3538
2	0.86754	0.48592	0.00110	0.00087	0.12768	0.13308	1.70	0.2288	1.36	0.0084	0.0348	0.3630
4	0.85492	0.56157	0.00103	0.00037	0.12401	0.13074	1.70	0.2232	1.32	0.0079	0.0333	0.3516
6	0.85135	0.55851	0.00102	0.00051	0.12509	0.12944	1.70	0.2220	1.32	0.0081	0.0328	0.3561
24	0.85683	0.56119	0.00091	0.00042	0.12627	0.12978	1.69	0.2260	1.36	0.0082	0.0307	0.3612

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.89599	0.47298	0.00098	0.00023	0.14517	0.13621	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.87115	0.56079	0.00108	0.00074	0.12627	0.13314	1.69	0.2266	1.38	0.0073	0.0343	0.3624
1	0.85596	0.56294	0.00095	0.00024	0.12648	0.13123	1.70	0.2270	1.36	0.0079	0.0336	0.3604
2	0.86810	0.56271	0.00100	0.00083	0.12576	0.13219	1.69	0.2282	1.35	0.0082	0.0341	0.3604
4	0.84576	0.55998	0.00100	0.00017	0.12486	0.12930	1.70	0.2242	1.33	0.0075	0.0317	0.3556
6	0.83466	0.56223	0.00146	0.00079	0.12427	0.12981	1.69	0.2248	1.36	0.0081	0.0317	0.3508
24	0.85105	0.56171	0.00111	0.00025	0.12644	0.12905	1.70	0.2249	1.33	0.0082	0.0302	0.3566

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.89599	0.47298	0.00098	0.00023	0.14517	0.13621	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.87952	0.56197	0.00108	0.00051	0.12674	0.13367	1.69	0.2290	1.36	0.0083	0.0344	0.3680
1	0.87543	0.55980	0.00090	0.00011	0.12639	0.13161	1.70	0.2261	1.35	0.0063	0.0330	0.3630
2	0.85863	0.56290	0.00110	0.00017	0.12468	0.12976	1.69	0.2241	1.35	0.0078	0.0332	0.3577
4	0.84252	0.56224	0.00110	0.00001	0.12433	0.12658	1.69	0.2250	1.34	0.0080	0.0319	0.3586
6	0.86223	0.56033	0.00110	0.00027	0.12555	0.13037	1.69	0.2243	1.36	0.0079	0.0318	0.3626
24	0.87199	0.56131	0.00111	0.00084	0.12796	0.13122	1.70	0.2273	1.38	0.0081	0.0330	0.3638

Écailles d'arachides, traitement acide, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.8960	0.4730	0.0010	0.0002	0.1452	0.1362	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.8597	0.4688	0.0009	0.0001	0.1211	0.1260	1.69	0.2264	1.38	0.0082	0.0211	0.3634
1	0.8658	0.4676	0.0010	0.0002	0.1190	0.1286	1.70	0.2262	1.34	0.0079	0.0199	0.3620
2	0.8653	0.4587	0.0011	0.0003	0.1207	0.1284	1.69	0.2284	1.38	0.0079	0.0198	0.3610
4	0.8511	0.4798	0.0010	0.0001	0.1157	0.1262	1.70	0.2216	1.34	0.0053	0.0175	0.3568
6	0.8569	0.4732	0.0009	0.0002	0.1176	0.1264	1.69	0.2242	1.35	0.0072	0.0182	0.3597
24	0.8568	0.4659	0.0010	0.0006	0.1195	0.1255	1.70	0.2280	1.38	0.0078	0.0163	0.3651

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.8960	0.4730	0.0010	0.0002	0.1452	0.1362	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.8357	0.4706	0.0009	0.0004	0.1225	0.1275	1.70	0.2262	1.38	0.0054	0.0210	0.3555
1	0.8595	0.4659	0.0011	-0.0001	0.1234	0.1277	1.70	0.2269	1.38	0.0075	0.0204	0.3637
2	0.8569	0.4668	0.0011	0.0001	0.1229	0.1276	1.69	0.2266	1.38	0.0078	0.0202	0.3634
4	0.8535	0.4645	0.0009	0.0006	0.1217	0.1271	1.69	0.2293	1.39	0.0048	0.0193	0.3643
6	0.8376	0.4687	0.0010	0.0007	0.1175	0.1255	1.70	0.2237	1.37	0.0078	0.0190	0.3595
24	0.9220	0.4578	0.0012	0.0004	0.1310	0.1366	1.70	0.2454	1.50	0.0081	0.0204	0.3938

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.8960	0.4730	0.0010	0.0002	0.1452	0.1362	1.70	0.2375	1.39	0.0073	0.0470	0.3821
0.5	0.8529	0.4629	0.0010	0.0002	0.1228	0.1271	1.70	0.2255	1.38	0.0068	0.0222	0.3592
1	0.8486	0.4680	0.0011	0.0005	0.1229	0.1273	1.69	0.2269	1.39	0.0071	0.0200	0.3615
2	0.8361	0.4842	0.0008	0.0001	0.1211	0.1246	1.70	0.2233	1.36	0.0075	0.0191	0.3548
4	0.8521	0.4953	0.0011	0.0004	0.1204	0.1284	1.70	0.2258	1.38	0.0038	0.0199	0.3609
6	0.8644	0.4834	0.0010	0.0002	0.1203	0.1279	1.70	0.2281	1.37	0.0076	0.0194	0.3650
24	0.8268	0.4837	0.0013	0.0004	0.1167	0.1231	1.69	0.2220	1.37	0.0079	0.0162	0.3506

Pin gris et épinette, traitement acide, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.01	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	1.00	0.5060	0.0008	0.0007	0.1294	0.1487	1.75	0.2273	1.44	0.0061	0.0237	0.3625
1	1.00	0.5055	0.0008	0.0009	0.1271	0.1499	1.75	0.2270	1.42	0.0060	0.0241	0.3631
2	0.97	0.4995	0.0011	0.0003	0.1252	0.1463	1.75	0.2214	1.39	0.0065	0.0222	0.3498
4	0.98	0.5085	0.0006	0.0009	0.1264	0.1476	1.75	0.2235	1.39	0.0077	0.0220	0.3579
6	0.98	0.5188	0.0009	0.0005	0.1272	0.1476	1.75	0.2226	1.42	0.0071	0.0206	0.3573
24	0.98	0.5102	0.0008	0.0010	0.1289	0.1482	1.75	0.2238	1.44	0.0063	0.0218	0.3585

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.01	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.98	0.5000	0.0011	0.0007	0.1290	0.1472	1.75	0.2247	1.38	0.0068	0.0249	0.3584
1	0.97	0.5108	0.0009	0.0008	0.1249	0.1469	1.75	0.2206	1.35	0.0061	0.0234	0.3531
2	0.97	0.4978	0.0010	0.0006	0.1262	0.1467	1.75	0.2218	1.36	0.0069	0.0216	0.3568
4	0.98	0.4898	0.0010	0.0007	0.1268	0.1459	1.75	0.2223	1.38	0.0065	0.0216	0.3571
6	1.00	0.5139	0.0007	0.0015	0.1260	0.1488	1.75	0.2244	1.37	0.0061	0.0219	0.3601
24	1.00	0.4971	0.0009	0.0010	0.1273	0.1485	1.75	0.2258	1.39	0.0064	0.0208	0.3594

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement acide, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.01	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.98	0.4997	0.0007	0.0011	0.1265	0.1475	1.75	0.2251	1.39	0.0024	0.0252	0.3599
1	0.97	0.5193	0.0009	0.0009	0.1268	0.1481	1.75	0.2227	1.36	0.0063	0.0234	0.3535
2	0.95	0.5286	0.0010	0.0011	0.1242	0.1445	1.75	0.2183	1.32	0.0069	0.0226	0.3455
4	0.96	0.5294	0.0009	0.0007	0.1236	0.1440	1.75	0.2199	1.33	0.0064	0.0221	0.3502
6	0.98	0.5108	0.0010	0.0007	0.1249	0.1460	1.75	0.2230	1.36	0.0066	0.0208	0.3532
24	1.02	0.5245	0.0010	0.0008	0.1322	0.1525	1.75	0.2338	1.41	0.0083	0.0231	0.3727

Paillis de cacao, traitement phosphate, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.0892	0.4909	0.0027	0.0007	0.0066	0.0044	1.68	0.1788	5.44	0.0048	0.0028	0.1560
1	0.0842	0.4991	0.0029	0.0005	0.0051	0.0032	1.68	0.1811	5.46	0.0047	0.0016	0.1548
2	0.0836	0.4997	0.0028	0.0008	0.0046	0.0032	1.68	0.1790	5.73	0.0041	0.0015	0.1534
4	0.0709	0.5229	0.0026	0.0004	0.0038	0.0026	1.68	0.1738	5.77	0.0044	0.0013	0.1494
6	0.0749	0.5184	0.0026	0.0004	0.0035	0.0029	1.68	0.1720	5.79	0.0043	0.0008	0.1477
24	0.0838	0.5352	0.0025	0.0004	0.0026	0.0036	1.69	0.1596	5.81	0.0040	0.0024	0.1281

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.1148	0.5163	0.0011	0.0001	0.0056	0.0043	1.68	0.1699	5.77	0.0031	0.0033	0.1388
1	0.0995	0.5179	0.0010	0.0003	0.0048	0.0035	1.69	0.1744	5.77	0.0032	0.0023	0.1411
2	0.0848	0.5198	0.0009	0.0003	0.0040	0.0028	1.69	0.1695	5.79	0.0034	0.0026	0.1337
4	0.0781	0.5226	0.0011	0.0004	0.0037	0.0035	1.68	0.1677	5.78	0.0036	0.0006	0.1304
6	0.0846	0.5274	0.0010	0.0001	0.0032	0.0033	1.68	0.1669	5.78	0.0036	0.0021	0.1296
24	0.0985	0.5430	0.0008	0.0001	0.0026	0.0040	1.68	0.1512	5.82	0.0023	0.0019	0.1161

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cacao, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.1124	0.5176	0.0011	0.0003	0.0058	0.0042	1.68	0.1746	5.78	0.0025	0.0020	0.1442
1	0.0998	0.5258	0.0006	0.0004	0.0043	0.0033	1.68	0.1686	5.75	0.0023	0.0017	0.1223
2	0.0928	0.5286	0.0005	-0.0001	0.0037	0.0030	1.69	0.1672	5.76	0.0024	0.0025	0.1199
4	0.0837	0.5137	0.0006	-0.0002	0.0031	0.0028	1.68	0.1676	5.77	0.0019	0.0019	0.1164
6	0.0845	0.5146	0.0004	0.0000	0.0028	0.0029	1.68	0.1647	5.75	0.0022	0.0026	0.1152
24	0.0888	0.5267	0.0003	0.0001	0.0023	0.0031	1.68	0.1551	5.77	0.0022	0.0011	0.1030

Mousse de tourbe, traitement phosphate, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0000	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.0965	0.5382	0.0008	0.0000	0.0059	0.0112	1.75	0.1772	5.71	0.0030	0.0011	0.2155
1	0.0863	0.5266	0.0007	0.0000	0.0053	0.0078	1.75	0.1816	5.75	0.0027	0.0007	0.2217
2	0.0774	0.5289	0.0007	0.0000	0.0046	0.0058	1.75	0.1814	5.79	0.0020	0.0000	0.2210
4	0.0664	0.5211	0.0008	0.0000	0.0042	0.0042	1.75	0.1794	5.76	0.0030	0.0002	0.2192
6	0.0640	0.5205	0.0009	0.0000	0.0039	0.0039	1.75	0.1818	5.78	0.0027	0.0008	0.2221
24	0.0580	0.5088	0.0009	0.0000	0.0035	0.0026	1.75	0.1818	5.73	0.0034	0.0009	0.2287

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0000	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.0904	0.5262	0.0007	0.0000	0.0054	0.0112	1.75	0.1738	5.72	0.0033	0.0003	0.2079
1	0.0784	0.5053	0.0006	0.0000	0.0043	0.0070	1.75	0.1753	5.72	0.0030	0.0000	0.2059
2	0.0717	0.5207	0.0008	0.0000	0.0043	0.0055	1.75	0.1790	5.76	0.0029	0.0011	0.2147
4	0.0623	0.5180	0.0008	0.0000	0.0037	0.0036	1.75	0.1769	5.77	0.0027	0.0009	0.2114
6	0.0594	0.5221	0.0007	0.0000	0.0036	0.0032	1.75	0.1763	5.76	0.0028	0.0002	0.2122
24	0.0526	0.5246	0.0007	0.0000	0.0032	0.0022	1.75	0.1792	5.73	0.0027	-0.0003	0.2142

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par la mousse de tourbe, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.0849	0.5242	0.0007	0.0004	0.0050	0.0083	1.75	0.1777	5.78	0.0031	0.0017	0.2105
1	0.0749	0.5330	0.0007	0.0002	0.0046	0.0062	1.74	0.1801	5.74	0.0028	0.0013	0.2114
2	0.0684	0.5320	0.0008	0.0001	0.0038	0.0045	1.75	0.1785	5.74	0.0026	0.0011	0.2062
4	0.0590	0.5368	0.0008	-0.0001	0.0034	0.0033	1.75	0.1785	5.74	0.0030	0.0003	0.2100
6	0.0567	0.5325	0.0007	-0.0005	0.0031	0.0031	1.75	0.1802	5.75	0.0030	0.0012	0.2114
24	0.0483	0.5360	0.0006	0.0007	0.0030	0.0024	1.75	0.1763	5.75	0.0035	0.0000	0.2065

Paillis de cèdre, traitement phosphate, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	-0.0001	0.1063	0.0991	1.67	0.205	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.0237	0.6017	0.0009	-0.0003	0.0117	0.0020	1.67	0.179	5.93	0.0051	-0.0001	0.1003
1	0.0098	0.6006	0.0010	-0.0002	0.0090	0.0006	1.67	0.175	5.98	0.0059	0.0000	0.0827
2	0.0421	0.6021	0.0010	-0.0003	0.0080	0.0041	1.67	0.166	5.94	0.0033	0.0006	0.0692
4	0.0661	0.5340	0.0009	0.0001	0.0076	0.0061	1.67	0.163	5.98	0.0054	0.0024	0.0656
6	0.0302	0.5989	0.0009	-0.0003	0.0061	0.0027	1.67	0.162	5.96	0.0049	-0.0002	0.0568
24	0.0203	0.6043	0.0007	0.0000	0.0051	0.0026	1.67	0.159	5.96	0.0055	-0.0005	0.0483

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.205	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.0241	0.6011	0.0011	0.0000	0.0129	0.0026	1.67	0.180	5.96	0.0046	0.0000	0.1177
1	0.0233	0.6008	0.0010	0.0000	0.0104	0.0024	1.67	0.174	5.97	0.0047	0.0001	0.0996
2	0.0338	0.6026	0.0009	0.0000	0.0085	0.0031	1.67	0.171	5.95	0.0056	0.0003	0.0832
4	0.0335	0.6032	0.0006	0.0000	0.0075	0.0029	1.67	0.171	5.97	0.0057	0.0008	0.0729
6	0.0250	0.6034	0.0009	0.0000	0.0067	0.0025	1.67	0.167	5.97	0.0054	0.0004	0.0669
24	0.0258	0.6014	0.0008	0.0000	0.0057	0.0031	1.67	0.163	5.96	0.0035	0.0000	0.0589

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le paillis de cèdre, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.7361	0.5309	0.0012	0.0000	0.1063	0.0991	1.67	0.205	1.37	0.0060	0.0332	0.3241
0.5	0.0285	0.6034	0.0010	0.0000	0.0149	0.0020	1.67	0.185	5.99	0.0047	0.0006	0.1451
1	0.0222	0.5986	0.0010	0.0000	0.0122	0.0025	1.66	0.181	5.95	0.0054	0.0008	0.1262
2	0.0300	0.6022	0.0011	0.0000	0.0098	0.0026	1.67	0.181	5.98	0.0058	0.0014	0.1102
4	0.0364	0.5999	0.0010	0.0000	0.0088	0.0035	1.67	0.176	5.97	0.0055	0.0000	0.0986
6	0.0423	0.6009	0.0010	0.0000	0.0082	0.0039	1.67	0.179	6.00	0.0057	0.0013	0.0975
24	0.0165	0.6032	0.0010	0.0000	0.0061	0.0019	1.67	0.172	5.98	0.0054	0.0000	0.0792

Écailles d'arachides, traitement phosphate, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.01	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.93	0.5066	0.0011	0.0010	0.0765	0.1318	1.75	0.2272	6.00	0.0057	0.0127	0.3487
1	0.91	0.5101	0.0009	0.0005	0.0734	0.1298	1.74	0.2265	6.00	0.0054	0.0119	0.3460
2	0.88	0.4988	0.0008	0.0008	0.0691	0.1261	1.75	0.2223	6.01	0.0060	0.0113	0.3395
4	0.90	0.5136	0.0009	0.0009	0.0688	0.1258	1.75	0.2255	6.02	0.0053	0.0116	0.3422
6	0.91	0.5106	0.0006	0.0007	0.0688	0.1271	1.75	0.2318	6.02	0.0047	0.0110	0.3510
24	0.90	0.5119	0.0007	0.0004	0.0674	0.1207	1.75	0.2317	6.00	0.0068	0.0104	0.3512

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.01	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.94	0.5063	0.0008	0.0008	0.0755	0.1331	1.75	0.2290	6.00	0.0061	0.0137	0.3489
1	0.92	0.5047	0.0007	0.0007	0.0722	0.1318	1.75	0.2302	6.00	0.0054	0.0095	0.3504
2	0.90	0.5052	0.0011	0.0011	0.0697	0.1292	1.75	0.2282	6.00	0.0046	0.0119	0.3489
4	0.90	0.5205	0.0010	0.0005	0.0680	0.1287	1.75	0.2300	6.01	0.0067	0.0102	0.3439
6	0.91	0.5188	0.0005	0.0003	0.0675	0.1271	1.75	0.2334	6.00	0.0060	0.0106	0.3539
24	0.91	0.5218	0.0007	0.0003	0.0655	0.1202	1.75	0.2326	6.01	0.0052	0.0092	0.3518

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par les écailles d'arachides, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	1.01	0.5145	0.0009	0.0008	0.1442	0.1497	1.75	0.2328	1.47	0.0060	0.0457	0.3693
0.5	0.96	0.5328	0.0010	0.0007	0.0791	0.1360	1.75	0.2333	6.00	0.0071	0.0142	0.3563
1	0.93	0.5145	0.0005	0.0006	0.0741	0.1333	1.75	0.2271	6.00	0.0049	0.0137	0.3485
2	0.93	0.5000	0.0010	0.0004	0.0721	0.1302	1.74	0.2308	6.00	0.0067	0.0120	0.3517
4	0.91	0.5152	0.0008	0.0008	0.0710	0.1299	1.75	0.2308	6.02	0.0058	0.0116	0.3469
6	0.92	0.5007	0.0006	0.0007	0.0698	0.1281	1.75	0.2307	6.00	0.0047	0.0118	0.3523
24	0.93	0.4947	0.0008	0.0008	0.0701	0.1252	1.74	0.2378	6.01	0.0058	0.0111	0.3585

Pin gris et épinette, traitement phosphate, lixiviat d'un sol contaminé

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #1

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.6278	0.4875	0.0010	0.0001	0.0679	0.0796	1.69	0.2004	6.05	0.0045	0.0079	0.3110
1	0.6429	0.4898	0.0012	0.0008	0.0687	0.0814	1.68	0.2076	6.04	0.0053	0.0080	0.3184
2	0.5980	0.5149	0.0010	0.0009	0.0662	0.0769	1.68	0.1976	6.06	0.0040	0.0070	0.3043
4	0.6040	0.5263	0.0007	0.0008	0.0654	0.0757	1.68	0.1946	6.07	0.0034	0.0066	0.3061
6	0.5947	0.5949	0.0010	0.0009	0.0648	0.0749	1.68	0.1981	6.05	0.0048	0.0071	0.3044
24	0.5995	0.5977	0.0010	0.0003	0.0637	0.0790	1.69	0.1975	6.06	0.0053	0.0069	0.3050

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #2

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6352	0.5915	0.0009	0.0004	0.0683	0.0819	1.68	0.2020	6.05	0.0044	0.0085	0.3114
0.5	0.6186	0.5146	0.0009	0.0010	0.0671	0.0800	1.68	0.2000	6.06	0.0049	0.0084	0.3073
1	0.6080	0.5217	0.0001	0.0004	0.0660	0.0774	1.69	0.1984	6.05	0.0035	0.0079	0.3037
2	0.5913	0.5067	0.0008	0.0005	0.0653	0.0758	1.68	0.1853	6.05	0.0051	0.0072	0.3054
4	0.6097	0.5051	0.0009	0.0002	0.0653	0.0762	1.68	0.2006	6.05	0.0048	0.0065	0.3089
6	0.5955	0.5082	0.0009	0.0009	0.0641	0.0772	1.68	0.1973	6.07	0.0040	0.0060	0.3032
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Concentration (mM) en métaux dissous lors de l'adsorption des métaux par le mélange de pin gris et d'épinette, traitement phosphate, essai #3

Temps (h)	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
0	0.6785	0.4793	0.0017	0.0010	0.1074	0.0978	1.68	0.2019	1.35	0.0063	0.0316	0.3108
0.5	0.6061	0.5194	0.0006	0.0006	0.0640	0.0786	1.69	0.1999	6.03	0.0043	0.0076	0.3086
1	0.5765	0.5095	0.0007	0.0002	0.0631	0.0759	1.68	0.1955	6.04	0.0038	0.0074	0.2964
2	0.5914	0.5240	0.0003	0.0008	0.0619	0.0737	1.68	0.1967	6.04	0.0040	0.0067	0.3022
4	0.6207	0.5238	0.0011	0.0006	0.0619	0.0732	1.75	0.1998	5.99	0.0051	0.0080	0.3086
6	0.6284	0.5235	0.0006	0.0007	0.0623	0.0728	1.75	0.2021	5.99	0.0042	0.0073	0.3102
24	0.6253	0.5239	0.0011	0.0001	0.0622	0.0749	1.75	0.2043	6.00	0.0048	0.0082	0.3166

APPENDICE D :

Rendement d'adsorption et traitement statistique des divers adsorbants
en contact avec le lixiviat synthétique

Copeaux de pin gris et d'épinette - lixiviat synthétique - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	13.7	0.0	12.5	11.7	20.7	43.6	0.0	2.8	0.0	10.8	85.2	10.4
2	4.2	0.0	6.1	10.1	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	7.5	78.1	3.2
3	4.0	0.0	7.9	11.5	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	8.2	77.0	3.6
Moyenne	7.3	0.0	8.8	11.1	6.9	20.7	0.0	0.9	0.0	8.8	80.1	5.7
Écart type	5.5	0.0	3.3	0.9	12.0	19.8	0.0	1.6	0.0	1.8	4.4	4.1

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	10.7	0.0	9.8	7.4	11.7	4.9	2.5	6.0	0.0	7.1	79.7	11.1
2	9.8	0.0	10.6	10.0	11.5	6.7	5.4	8.3	0.0	10.1	75.5	12.4
3	10.4	0.0	8.8	7.1	10.4	4.1	2.9	6.3	0.0	7.3	77.8	10.6
Moyenne	10.3	0.0	9.7	8.2	11.2	5.2	3.6	6.8	0.0	8.2	77.7	11.4
Écart type	0.4	0.0	0.9	1.6	0.7	1.3	1.6	1.3	0.0	1.7	2.1	1.0

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux copeaux de pin gris et d'épinette avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-3.01	0.00	-0.94	2.95	-4.30	15.43	-3.62	-5.92	0.00	0.67	2.40	-5.65
s_d	5.22	0.00	3.61	2.47	11.52	20.19	1.57	2.58	0.00	3.21	3.16	4.42
t	-1.00	N.A.	-0.45	2.07	-0.65	1.32	-4.00	-3.97	N.A.	0.36	1.32	-2.21

N.A. : Non applicable

Pailis de cacao - lixiviat synthétique - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cacao sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.1	0.0	17.4	18.1	23.2	34.6	0.0	9.9	0.0	17.8	91.5	15.7
2	7.0	0.0	18.7	22.2	26.8	37.0	0.0	10.8	0.0	18.2	92.0	18.6
3	13.3	0.0	23.1	25.5	34.2	43.6	0.0	13.6	0.0	22.3	93.2	20.7
Moyenne	8.2	0.0	19.7	21.9	28.1	38.4	0.0	11.5	0.0	19.4	92.2	18.3
Écart type	4.7	0.0	3.0	3.7	5.6	4.7	0.0	1.9	0.0	2.5	0.9	2.5

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cacao traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	12.2	0.0	6.3	7.3	27.1	9.3	0.0	3.2	0.0	6.9	95.7	11.5
2	8.6	0.0	4.1	6.0	26.5	7.5	0.0	2.7	0.0	5.1	94.2	8.3
3	13.0	0.0	8.4	9.2	35.9	12.2	0.0	5.4	0.0	6.7	96.2	11.8
Moyenne	11.3	0.0	6.3	7.5	29.8	9.7	0.0	3.8	0.0	6.2	95.4	10.5
Écart type	2.4	0.0	2.2	1.6	5.2	2.4	0.0	1.4	0.0	1.0	1.0	1.9

Traitement statistique du test paramétrique paillé de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cacao avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	-3.12	0.00	13.45	14.43	-1.76	28.68	0.00	7.68	0.00	13.18	-3.13	7.79
s _d	4.45	0.00	2.06	3.18	2.13	3.15	0.00	0.84	0.00	2.34	0.99	3.16
t	-1.21	N.A.	11.29	7.86	-1.43	15.76	N.A.	15.79	N.A.	9.75	-5.50	4.27

N.A. : Non applicable

Écailles d'arachides - lixiviat synthétique - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	7.0	0.0	5.6	6.1	3.9	1.7	0.0	0.2	0.0	5.8	70.8	9.2
2	13.6	0.0	2.1	5.5	10.0	9.8	0.0	0.0	0.0	5.2	72.5	7.9
3	8.2	0.0	0.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.5	4.5
Moyenne	9.6	0.0	2.6	4.5	4.6	3.8	0.0	0.1	0.0	3.7	72.0	7.2
Écart type	3.5	0.0	2.8	2.3	5.1	5.2	0.0	0.1	0.0	3.2	1.0	2.4

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	2.1	0.0	7.3	8.2	14.1	3.1	0.0	6.1	0.0	7.1	69.8	9.8
2	4.2	0.0	8.4	8.4	19.5	5.7	0.7	7.0	0.0	8.3	74.2	11.4
3	5.0	0.0	4.9	5.5	11.8	2.2	0.0	3.1	0.0	5.6	68.3	8.1
Moyenne	3.8	0.0	6.9	7.4	15.2	3.7	0.2	5.4	0.0	7.0	70.7	9.8
Écart type	1.5	0.0	1.8	1.6	3.9	1.8	0.4	2.1	0.0	1.4	3.0	1.6

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux écailles d'arachides avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	5.88	0.00	-4.26	-2.84	-10.52	0.17	-0.22	-5.34	0.00	-3.34	1.22	-2.58
s_d	3.18	0.00	2.39	0.77	1.21	3.40	0.38	2.05	0.00	2.14	2.94	1.68
t	3.21	N.A.	-3.08	-6.36	-15.05	0.09	-1.00	-4.52	N.A.	-2.71	0.72	-2.66

N.A. : Non applicable

Pailis de cèdre - lixiviat synthétique - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	4.9	25.6	24.6	0.0	0.0	1.9	0.0	10.8	65.3	9.7
2	1.0	0.0	8.2	26.9	26.9	5.0	0.0	4.3	0.0	13.9	66.7	12.3
3	1.1	0.0	5.6	21.5	21.1	7.8	0.0	3.6	0.0	11.8	59.1	10.5
Moyenne	0.7	0.0	6.2	24.6	24.2	4.3	0.0	3.3	0.0	12.1	63.7	10.8
Écart type	0.6	0.0	1.8	2.8	2.9	3.9	0.0	1.2	0.0	1.6	4.0	1.3

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	25.8	0.0	13.2	21.7	33.2	14.5	4.9	10.5	0.0	14.2	78.0	14.4
2	23.5	0.0	10.2	19.6	29.7	10.2	2.1	7.1	0.0	11.9	75.9	12.4
3	26.3	0.0	18.8	24.0	44.4	16.0	13.0	12.4	0.0	17.9	79.5	24.1
Moyenne	25.2	0.0	14.1	21.8	35.8	13.6	6.7	10.0	0.0	14.6	77.8	17.0
Écart type	1.5	0.0	4.3	2.2	7.7	3.0	5.7	2.7	0.0	3.1	1.8	6.3

Traitement statistique du test paramétrique paîré de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cèdre avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	-24.50	0.00	-7.85	2.88	-11.54	-9.32	-6.69	-6.71	0.00	-2.50	-14.13	-6.14
s _d	1.81	0.00	5.62	4.98	10.54	4.76	5.67	3.41	0.00	4.15	5.71	6.85
t	-23.49	N.A.	-2.42	1.00	-1.90	-3.39	-2.04	-3.40	N.A.	-1.04	-4.29	-1.55

N.A. : Non applicable

Mousse de tourbe - lixiviat synthétique - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.1	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.4	0.0	0.0	0.0	51.7	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	0.0
Moyenne	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.1	0.0	0.0	0.0	69.9	0.0
Écart type	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.2	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	41.7	0.0	12.1	31.8	45.2	34.6	0.0	8.8	0.0	14.9	53.0	13.9
2	45.0	0.0	12.0	36.5	48.8	36.6	0.0	8.4	0.0	15.5	56.4	14.3
3	38.4	0.0	12.2	29.5	44.0	32.9	0.0	8.8	0.0	13.8	50.4	13.4
Moyenne	41.7	0.0	12.1	32.6	46.0	34.7	0.0	8.7	0.0	14.7	53.3	13.9
Écart type	3.3	0.0	0.1	3.6	2.5	1.8	0.0	0.2	0.0	0.9	3.0	0.5

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student

Résultats appliqués à la mousse de tourbe avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	-41.71	0.00	-12.07	-32.60	-46.00	-24.50	0.14	-8.66	0.00	-14.72	16.67	-13.89
s _d	3.26	0.00	0.10	3.56	2.53	7.93	0.24	0.24	0.00	0.89	18.64	0.46
t	-22.15	N.A	-200.34	-15.87	-31.53	-5.35	1.00	-62.32	N.A	-28.66	1.55	-52.77

N.A. : Non applicable

Copeaux de pin gris et d'épinette - lixiviat synthétique - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	13.7	0.0	12.5	11.7	20.7	43.6	0.0	2.8	0.0	10.8	85.2	10.4
2	4.2	0.0	6.1	10.1	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	7.5	78.1	3.2
3	4.0	0.0	7.9	11.5	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	8.2	77.0	3.6
Moyenne	7.3	0.0	8.8	11.1	6.9	20.7	0.0	0.9	0.0	8.8	80.1	5.7
Écart type	5.5	0.0	3.3	0.9	12.0	19.8	0.0	1.6	0.0	1.8	4.4	4.1

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.7	0.0	6.5	9.4	0.3	5.0	0.0	0.0	0.0	8.3	61.3	4.0
2	5.2	0.0	7.4	11.5	3.8	8.4	0.0	0.0	0.0	9.1	68.6	5.5
3	2.9	0.0	4.2	7.5	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	5.8	65.0	1.8
Moyenne	4.2	0.0	6.1	9.5	1.4	5.9	0.0	0.0	0.0	7.7	64.9	3.8
Écart type	1.2	0.0	1.6	2.0	2.1	2.2	0.0	0.0	0.0	1.7	3.7	1.9

**Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux copeaux de pin gris et d'épinette avec un traitement phosphate et sans traitement**

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	3.04	0.00	2.75	1.64	5.55	14.77	0.00	0.00	0.00	1.12	15.15	1.95
s_d	5.29	0.00	3.72	2.77	13.01	20.70	0.00	0.00	0.00	2.36	7.70	4.37
t	1.00	N.A.	1.28	1.02	0.74	1.24	N.A.	N.A.	N.A.	0.82	3.41	0.77

N.A. : Non applicable

Pailis de cacao - lixiviat synthétique - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cacao sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.1	0.0	17.4	18.1	23.2	34.6	0.0	9.9	0.0	17.8	91.5	15.7
2	7.0	0.0	18.7	22.2	26.8	37.0	0.0	10.8	0.0	18.2	92.0	18.6
3	13.3	0.0	23.1	25.5	34.2	43.6	0.0	13.6	0.0	22.3	93.2	20.7
Moyenne	8.2	0.0	19.7	21.9	28.1	38.4	0.0	11.5	0.0	19.4	92.2	18.3
Écart type	4.7	0.0	3.0	3.7	5.6	4.7	0.0	1.9	0.0	2.5	0.9	2.5

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cacao traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	19.1	27.2	39.1	32.1	0.0	14.4	0.0	20.7	97.3	20.0
2	8.2	0.0	28.1	33.2	47.5	38.5	0.0	19.9	0.0	26.9	98.0	27.7
3	7.4	0.0	30.2	38.5	58.7	44.8	0.0	18.5	0.0	28.3	98.8	29.8
Moyenne	5.2	0.0	25.8	33.0	48.4	38.5	0.0	17.6	0.0	25.3	98.0	25.9
Écart type	4.5	0.0	5.9	5.6	9.8	6.4	0.0	2.8	0.0	4.1	0.8	5.2

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cacao avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	2.95	0.00	-6.08	-11.01	-20.37	-0.07	0.00	-6.11	0.00	-5.86	-5.81	-7.53
s_d	3.76	0.00	3.93	1.92	4.28	2.23	0.00	2.54	0.00	2.88	0.15	2.83
t	1.36	N.A.	-2.68	-9.94	-8.25	-0.06	N.A.	-4.17	N.A.	-3.52	-67.18	-4.61

N.A. : Non applicable

Écailles d'arachides - lixiviat synthétique - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	7.0	0.0	5.6	6.1	3.9	1.7	0.0	0.2	0.0	5.8	70.8	9.2
2	13.6	0.0	2.1	5.5	10.0	9.8	0.0	0.0	0.0	5.2	72.5	7.9
3	8.2	0.0	0.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.5	4.5
Moyenne	9.6	0.0	2.6	4.5	4.6	3.8	0.0	0.1	0.0	3.7	72.0	7.2
Écart type	3.5	0.0	2.8	2.3	5.1	5.2	0.0	0.1	0.0	3.2	1.0	2.4

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	2.6	0.0	2.8	5.7	14.8	0.3	0.0	0.0	0.0	1.9	71.1	5.5
2	5.5	0.0	6.2	11.7	25.7	10.1	0.0	0.5	0.0	5.5	74.0	9.5
3	5.3	0.0	5.7	9.9	25.1	10.6	0.0	0.4	0.0	5.2	75.2	7.9
Moyenne	4.5	0.0	4.9	9.1	21.9	7.0	0.0	0.3	0.0	4.2	73.4	7.6
Écart type	1.6	0.0	1.8	3.1	6.2	5.8	0.0	0.2	0.0	2.0	2.1	2.0

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux écailles d'arachides avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	5.17	0.00	-2.27	-4.60	-17.22	-3.15	0.00	-0.20	0.00	-0.53	-1.45	-0.44
s_d	2.67	0.00	4.48	4.42	7.21	6.47	0.00	0.38	0.00	4.57	1.22	3.70
t	3.35	N.A.	-0.88	-1.81	-4.14	-0.84	N.A.	-0.92	N.A.	-0.20	-2.06	-0.21

N.A. : Non applicable

Pailis de cèdre - lixiviat synthétique - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	4.9	25.6	24.6	0.0	0.0	1.9	0.0	10.8	65.3	9.7
2	1.0	0.0	8.2	26.9	26.9	5.0	0.0	4.3	0.0	13.9	66.7	12.3
3	1.1	0.0	5.6	21.5	21.1	7.8	0.0	3.6	0.0	11.8	59.1	10.5
Moyenne	0.7	0.0	6.2	24.6	24.2	4.3	0.0	3.3	0.0	12.1	63.7	10.8
Écart type	0.6	0.0	1.8	2.8	2.9	3.9	0.0	1.2	0.0	1.6	4.0	1.3

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	6.9	0.0	7.2	23.4	26.5	23.2	0.0	3.8	0.0	11.4	67.9	11.4
2	4.8	0.0	7.1	22.2	23.7	18.8	0.0	4.0	0.0	11.8	65.5	11.2
3	4.5	0.0	5.3	23.2	26.9	24.6	0.0	2.6	0.0	9.5	69.8	10.2
Moyenne	5.4	0.0	6.5	22.9	25.7	22.2	0.0	3.5	0.0	10.9	67.7	10.9
Écart type	1.4	0.0	1.1	0.7	1.8	3.0	0.0	0.8	0.0	1.2	2.1	0.6

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cèdre avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	-4.68	0.00	-0.29	1.72	-1.45	-17.94	0.00	-0.19	0.00	1.29	-4.03	-0.10
s _d	1.97	0.00	1.84	3.22	4.51	4.84	0.00	1.55	0.00	1.62	6.03	1.40
t	-4.11	N.A.	-0.27	0.93	-0.56	-6.42	N.A.	-0.21	N.A.	1.37	-1.16	-0.12

N.A. : Non applicable

Mousse de tourbe - lixiviat synthétique - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.1	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.4	0.0	0.0	0.0	51.7	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	0.0
Moyenne	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.1	0.0	0.0	0.0	69.9	0.0
Écart type	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.2	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	30.6	0.0	16.4	64.0	62.2	45.7	0.0	7.3	0.0	23.0	74.8	19.0
2	38.3	0.0	16.6	69.0	66.2	50.6	0.0	7.4	0.0	22.7	78.1	19.0
3	57.2	0.0	24.1	80.2	74.9	64.9	0.0	11.9	0.0	31.1	85.3	24.8
Moyenne	42.0	0.0	19.0	71.1	67.8	53.7	0.0	8.8	0.0	25.6	79.4	21.0
Écart type	13.7	0.0	4.4	8.3	6.5	10.0	0.0	2.6	0.0	4.8	5.4	3.3

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués à la mousse de tourbe avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-42.02	0.00	-19.01	-71.07	-67.75	-43.54	0.00	-8.83	0.00	-25.60	-9.46	-20.98
s_d	13.68	0.00	4.38	8.31	6.46	16.16	0.00	2.62	0.00	4.78	15.30	3.34
t	-5.32	N.A.	-7.52	-14.82	-18.16	-4.67	N.A.	-5.83	N.A.	-9.28	-1.07	-10.88

N.A. : Non applicable

APPENDICE E :

Rendement d'adsorption et traitement statistique des divers adsorbants
en contact avec le lixiviat de boues d'épuration

Copeaux de pin gris et d'épinette - lixiviat de boue - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	3.1	0.0	14.0	18.1	24.9	0.0	0.0	0.0	4.3	7.4	77.6	2.2
2	3.4	0.0	19.7	12.0	22.7	0.0	0.0	0.0	4.2	8.2	100.0	2.4
3	0.0	2.6	0.0	7.5	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Moyenne	2.2	0.9	11.3	12.5	20.1	0.0	0.0	0.0	2.8	5.2	92.5	1.5
Écart type	1.9	1.5	10.2	5.4	6.4	0.0	0.0	0.0	2.5	4.5	12.9	1.3

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	15.0	0.0	0.2	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.4
2	2.7	12.2	9.5	11.3	11.0	0.0	0.0	1.7	3.4	0.0	100.0	5.8
3	0.9	13.7	3.5	5.6	7.8	0.0	0.0	1.2	1.0	0.0	100.0	4.0
Moyenne	1.2	13.6	4.3	5.7	7.9	0.0	0.0	0.9	1.5	0.0	100.0	3.4
Écart type	1.4	1.4	4.8	5.5	3.0	0.0	0.0	0.9	1.8	0.0	0.0	2.7

**Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux copeaux de pin gris et d'épinette avec un traitement acide et sans traitement**

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	0.95	-12.78	6.93	6.81	12.19	0.00	0.00	-0.95	1.38	5.18	-7.47	-1.85
s_d	2.02	2.06	9.23	9.62	7.41	0.00	0.00	0.85	2.71	4.50	12.94	3.20
t	0.82	-10.76	1.30	1.23	2.85	N.A.	N.A.	-1.93	0.88	1.99	-1.00	-1.00

N.A. : Non applicable

Pailis de cacao - lixiviat de boue - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cacao sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	21.3	0.0	20.1	61.4	75.5	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	100.0	18.9
2	23.9	0.0	20.4	55.1	75.4	0.0	0.2	11.8	32.7	0.0	100.0	23.2
3	25.5	0.0	22.8	53.4	76.0	0.0	0.0	14.7	35.7	0.0	100.0	24.8
Moyenne	23.6	0.0	21.1	56.7	75.6	0.0	0.1	10.5	22.8	0.0	100.0	22.3
Écart type	2.1	0.0	1.5	4.2	0.3	0.0	0.1	5.0	19.8	0.0	0.0	3.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cacao traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	9.6	0.0	21.6	19.2	50.9	0.0	0.0	12.4	11.2	9.4	100.0	12.2
2	10.3	0.0	22.4	24.0	51.0	0.0	0.0	11.8	8.3	8.8	100.0	12.0
3	10.6	0.0	17.5	22.2	51.7	0.0	0.0	11.6	9.7	1.3	100.0	12.4
Moyenne	10.2	0.0	20.5	21.8	51.2	0.0	0.0	11.9	9.7	6.5	100.0	12.2
Écart type	0.5	0.0	2.6	2.4	0.4	0.0	0.0	0.4	1.5	4.5	0.0	0.2

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cacao avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	13.36	0.00	0.59	34.87	24.45	0.00	0.04	-1.46	13.08	-6.51	0.00	10.09
s _d	1.64	0.00	4.03	6.38	0.15	0.00	0.07	5.46	21.06	4.50	0.00	2.97
t	14.15	N.A.	0.25	9.46	279.88	N.A.	1.03	-0.46	1.08	-2.51	N.A.	5.87

N.A. : Non applicable

Écailles d'arachides - lixiviat de boue - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	8.7	0.0	15.4	20.7	45.3	0.0	0.0	4.4	0.0	13.7	100.0	14.2
2	7.2	0.0	19.6	21.4	46.2	0.0	0.0	4.8	0.0	16.0	100.0	14.4
3	8.5	0.0	20.4	21.7	45.5	0.0	0.0	5.4	0.0	20.1	100.0	15.3
Moyenne	8.1	0.0	18.4	21.2	45.6	0.0	0.0	4.9	0.0	16.6	100.0	14.6
Écart type	0.8	0.0	2.7	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	3.3	0.0	0.6

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.5	2.5	0.0	10.4	22.6	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	100.0	4.2
2	0.0	10.1	0.0	10.8	21.1	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	100.0	2.4
3	0.0	13.5	0.0	10.0	21.6	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	100.0	2.3
Moyenne	0.2	8.7	0.0	10.4	21.8	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	100.0	2.9
Écart type	0.3	5.6	0.0	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	1.1

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux écailles d'arachides avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	7.95	-8.70	18.44	10.82	23.89	0.00	0.00	4.85	-1.84	16.60	0.00	11.67
s_d	0.70	5.62	2.70	0.74	1.16	0.00	0.00	0.48	0.94	3.28	0.00	1.48
t	19.78	-2.68	11.84	25.27	35.74	N.A.	N.A.	17.40	-3.38	8.77	N.A.	13.64

N.A. : Non applicable

Pailis de cèdre - lixiviat de boue - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.7	0.0	10.6	35.9	33.1	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	86.2	8.3
2	3.9	0.0	14.3	34.7	33.5	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	100.0	10.4
3	5.5	0.0	14.0	37.7	33.2	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	100.0	8.6
Moyenne	4.7	0.0	13.0	36.1	33.3	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	95.4	9.1
Écart type	0.8	0.0	2.1	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	8.0	1.1

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	1.3	1.9	11.1	9.0	14.3	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	100.0	4.4
2	1.3	11.9	2.0	12.0	15.3	0.0	0.0	0.4	2.9	0.0	100.0	4.2
3	0.0	13.6	0.0	11.4	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	1.8
Moyenne	0.9	9.1	4.3	10.8	13.8	0.0	0.0	0.1	2.0	0.0	100.0	3.5
Écart type	0.8	6.3	5.9	1.6	1.8	0.0	0.0	0.2	1.8	0.0	0.0	1.4

Traitement statistique du test paramétrique paîré de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cèdre avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	3.84	-9.12	8.65	25.35	19.48	0.00	0.00	-0.14	5.18	0.00	-4.60	5.64
s _d	1.48	6.29	7.95	2.29	1.68	0.00	0.00	0.24	1.33	0.00	7.96	1.52
t	4.50	-2.51	1.88	19.17	20.13	N.A.	N.A.	-1.00	6.75	N.A.	-1.00	6.43

N.A. : Non applicable

Mousse de tourbe - lixiviat de boue - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	1.7	0.0	3.2	28.0	29.8	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	72.4	5.0
2	5.4	0.0	3.4	27.6	29.9	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	62.1	6.0
3	0.5	0.0	0.0	24.2	29.2	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	58.6	4.3
Moyenne	2.5	0.0	2.2	26.6	29.6	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	64.4	5.1
Écart type	2.6	0.0	1.9	2.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	7.2	0.9

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	5.1	0.0	0.0	13.4	22.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	63.0	0.0
2	3.9	0.0	0.0	12.2	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	0.7
3	0.9	0.0	0.0	7.8	17.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	59.3	0.0
Moyenne	3.3	0.0	0.0	11.1	20.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	59.3	0.3
Écart type	2.2	0.0	0.0	2.9	2.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	3.7	0.4

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués à la mousse de tourbe avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-0.75	0.00	2.20	15.45	8.78	-0.08	-0.06	0.00	8.32	0.00	5.11	4.85
s_d	2.48	0.00	1.91	0.85	2.46	0.07	0.11	0.00	0.15	0.00	5.19	0.51
t	-0.53	N.A.	2.00	31.58	6.18	-2.00	-1.00	N.A.	94.18	N.A.	1.71	16.48

N.A. : Non applicable

Copeaux de pin gris et d'épinette - lixiviat de boue - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	3.1	0.0	14.0	18.1	24.9	0.0	0.0	0.0	4.3	7.4	77.6	2.2
2	3.4	0.0	19.7	12.0	22.7	0.0	0.0	0.0	4.2	8.2	100.0	2.4
3	0.0	2.6	0.0	7.5	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Moyenne	2.2	0.9	11.3	12.5	20.1	0.0	0.0	0.0	2.8	5.2	92.5	1.5
Écart type	1.9	1.5	10.2	5.4	6.4	0.0	0.0	0.0	2.5	4.5	12.9	1.3

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.0	0.0	0.0	16.7	13.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.9	100.0	0.0
2	2.7	0.2	0.0	15.3	11.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
3	0.0	2.6	0.0	10.1	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Moyenne	2.2	0.9	0.0	14.0	11.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	100.0	0.0
Écart type	2.0	1.5	0.0	3.5	1.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0

Traitement statistique du test paramétrique paillé de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux copeaux de pin gris et d'épinette avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-0.06	-0.07	11.26	-1.50	8.84	0.00	-0.09	0.00	2.85	4.86	-7.47	1.54
s_d	0.81	0.09	10.16	2.55	4.63	0.00	0.08	0.00	2.47	4.30	12.94	1.34
t	-0.12	-1.35	1.92	-1.02	3.23	N.A.	-1.93	N.A.	2.00	1.96	-1.00	2.00

N.A. : Non applicable

Paillis de cacao - lixiviat de boue - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du paillis de cacao sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	21.3	0.0	20.1	61.4	75.5	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	100.0	18.9
2	23.9	0.0	20.4	55.1	75.4	0.0	0.2	11.8	32.7	0.0	100.0	23.2
3	25.5	0.0	22.8	53.4	76.0	0.0	0.0	14.7	35.7	0.0	100.0	24.8
Moyenne	23.6	0.0	21.1	56.7	75.6	0.0	0.1	10.5	22.8	0.0	100.0	22.3
Écart type	2.1	0.0	1.5	4.2	0.3	0.0	0.1	5.0	19.8	0.0	0.0	3.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du paillis de cacao traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	39.1	0.0	0.3	50.2	63.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.1
2	43.1	0.0	7.9	52.6	64.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	100.0	3.4
3	38.4	0.0	0.0	51.1	64.9	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.9
Moyenne	40.2	0.0	2.8	51.3	64.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	100.0	1.5
Écart type	2.5	0.0	4.5	1.2	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7

Traitement statistique du test paramétrique paillé de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués au paillis de cacao avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-16.66	0.00	18.35	5.36	11.29	0.00	-0.22	10.47	22.81	0.00	0.00	20.80
s_d	3.30	0.00	5.27	5.09	0.38	0.00	0.15	5.04	19.82	0.00	0.00	2.69
t	-8.76	N.A.	6.03	1.82	52.12	N.A.	-2.52	3.60	1.99	N.A.	N.A.	13.38

N.A. : Non applicable

Écailles d'arachides - lixiviat de boue- traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	8.7	0.0	15.4	20.7	45.3	0.0	0.0	4.4	0.0	13.7	100.0	14.2
2	7.2	0.0	19.6	21.4	46.2	0.0	0.0	4.8	0.0	16.0	100.0	14.4
3	8.5	0.0	20.4	21.7	45.5	0.0	0.0	5.4	0.0	20.1	100.0	15.3
Moyenne	8.1	0.0	18.4	21.2	45.6	0.0	0.0	4.9	0.0	16.6	100.0	14.6
Écart type	0.8	0.0	2.7	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	3.3	0.0	0.6

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.6	0.0	0.0	17.4	29.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.1
2	5.8	0.0	0.0	23.6	31.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	1.8
3	5.7	0.0	0.0	20.6	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	1.3
Moyenne	5.3	0.0	0.0	20.6	30.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	1.0
Écart type	0.7	0.0	0.0	3.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux écailles d'arachides avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	2.80	0.00	18.44	0.66	15.13	-0.06	0.00	4.85	0.00	16.60	0.00	13.58
s_d	1.38	0.00	2.70	2.78	0.47	0.06	0.00	0.48	0.00	3.28	0.00	0.85
t	3.52	N.A.	11.84	0.41	56.01	-1.68	N.A.	17.40	N.A.	8.77	N.A.	27.58

N.A. : Non applicable

Pailis de cèdre - lixiviat de boue - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.7	0.0	10.6	35.9	33.1	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	86.2	8.3
2	3.9	0.0	14.3	34.7	33.5	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	100.0	10.4
3	5.5	0.0	14.0	37.7	33.2	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	100.0	8.6
Moyenne	4.7	0.0	13.0	36.1	33.3	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	95.4	9.1
Écart type	0.8	0.0	2.1	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	8.0	1.1

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	32.3	0.0	0.0	21.6	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
2	28.0	0.0	0.4	16.2	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
3	28.0	0.0	0.4	16.2	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Moyenne	29.4	0.0	0.2	18.0	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Écart type	2.5	0.0	0.2	3.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Traitement statistique du test paramétrique paire de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de cèdre avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-24.71	0.00	12.74	18.13	15.40	0.00	0.00	0.00	7.22	0.00	-4.60	9.10
s_d	2.61	0.00	1.89	3.63	1.16	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	7.96	1.13
t	-16.41	N.A.	11.70	8.64	22.98	N.A.	N.A.	N.A.	12.47	N.A.	-1.00	13.94

N.A. : Non applicable

Mousse de tourbe - lixiviat de boue - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	1.7	0.0	3.2	28.0	29.8	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	72.4	5.0
2	5.4	0.0	3.4	27.6	29.9	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	62.1	6.0
3	0.5	0.0	0.0	24.2	29.2	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	58.6	4.3
Moyenne	2.5	0.0	2.2	26.6	29.6	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	64.4	5.1
Écart type	2.6	0.0	1.9	2.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	7.2	0.9

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	30.3	0.0	5.5	81.9	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	4.0
2	27.3	0.0	0.0	82.3	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.9
3	30.0	0.0	5.6	81.3	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	4.4
Moyenne	29.2	0.0	3.7	81.8	59.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	3.1
Écart type	1.6	0.0	3.2	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9

Traitement statistique du test paramétrique paillé de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués à la mousse de tourbe avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-26.70	0.00	-1.48	-55.23	-29.93	0.00	0.00	0.00	8.32	0.00	-35.63	2.01
s_d	4.17	0.00	4.53	1.68	0.93	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	7.18	2.72
t	-11.10	N.A.	-0.57	-57.08	-56.01	N.A.	N.A.	N.A.	94.18	N.A.	-8.60	1.28

N.A. : Non applicable

APPENDICE F :

Rendement d'adsorption et traitement statistique des divers adsorbants
en contact avec le lixiviat d'un sol contaminé

Copeaux de pin gris et d'épinette - lixiviat d'un sol contaminé - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	7.3	2.3	0.0	0.0	29.7	5.6	0.1	0.0	0.0	0.0	69.0	0.0
2	1.9	0.6	0.0	0.0	22.2	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	67.4	0.0
3	0.0	0.8	0.0	0.0	22.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	61.8	0.0
Moyenne	3.1	1.3	0.0	0.0	24.7	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	66.0	0.0
Écart type	3.8	0.9	0.0	0.0	4.3	3.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	3.3	0.8	0.0	0.0	10.6	1.0	0.0	3.9	2.1	0.0	52.3	2.9
2	1.0	3.4	0.0	0.0	11.7	0.8	0.0	3.0	5.5	0.0	54.5	2.7
3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	0.1	0.0	4.0	0.0	49.6	-0.9
Moyenne	1.4	1.4	0.0	0.0	10.2	0.6	0.0	2.3	3.9	0.0	52.1	1.6
Écart type	1.7	1.8	0.0	0.0	1.7	0.5	0.1	2.0	1.7	0.0	2.5	2.2

**Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux copeaux de pin gris et d'épinette avec un traitement acide et sans traitement**

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	1.64	-0.15	0.00	0.00	14.51	1.50	0.16	-2.29	-3.86	0.00	13.91	-1.57
s_d	2.13	2.28	0.00	0.00	4.34	2.65	0.09	2.03	1.70	0.00	2.43	2.15
t	1.34	-0.12	N.A.	N.A.	5.80	0.98	3.09	-1.95	-3.94	N.A.	9.90	-1.26

N.A. : Non applicable

Pailles de cacao - lixiviat d'un sol contaminé - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailles de cacao sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	58.6	0.0	0.0	0.0	72.9	68.2	0.3	6.1	7.8	0.0	93.1	19.9
2	58.5	0.0	8.3	0.0	73.0	69.6	0.3	7.2	9.7	0.0	90.8	19.8
3	58.9	0.0	16.2	0.0	72.6	68.7	0.3	5.8	7.3	0.0	94.0	18.7
Moyenne	58.7	0.0	8.2	0.0	72.8	68.9	0.3	6.3	8.2	0.0	92.6	19.4
Écart type	0.2	0.0	8.1	0.0	0.2	0.7	0.0	0.7	1.3	0.0	1.6	0.7

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailles de cacao traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.1	1.8	0.0	0.0	23.2	8.0	0.2	2.6	0.0	0.0	81.0	3.8
2	6.9	2.3	0.0	0.0	26.1	9.2	0.2	5.0	0.8	0.0	78.9	6.1
3	2.8	1.0	0.0	0.0	22.0	5.3	0.3	0.0	0.0	0.0	79.0	1.5
Moyenne	4.6	1.7	0.0	0.0	23.8	7.5	0.2	2.5	0.3	0.0	79.7	3.8
Écart type	2.1	0.6	0.0	0.0	2.1	2.0	0.1	2.5	0.5	0.0	1.2	2.3

Traitement statistique du test paramétrique paire de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailles de cacao avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	54.11	-1.70	8.18	0.00	49.07	61.36	0.10	3.81	7.97	0.00	12.95	15.64
s_d	2.28	0.64	8.12	0.00	1.93	1.84	0.05	1.83	0.81	0.00	1.70	1.79
t	41.15	-4.58	1.74	N.A.	44.03	57.73	3.43	3.61	16.93	N.A.	13.18	15.12

N.A. : Non applicable

Écailles d'arachides - lixiviat d'un sol contaminé - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	11.4	0.0	0.0	0.0	50.1	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	7.4
2	11.6	0.0	0.0	0.0	51.2	21.3	0.2	0.0	0.0	1.9	80.9	7.4
3	10.7	0.0	0.0	0.0	50.6	20.8	0.2	0.3	0.0	1.9	87.7	7.7
Moyenne	11.3	0.0	0.0	0.0	50.7	20.8	0.1	0.1	0.0	1.2	83.7	7.5
Écart type	0.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.1	0.2	0.0	1.1	3.6	0.2

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.4	1.5	0.0	0.0	17.7	7.9	0.1	4.0	1.1	0.0	65.4	4.4
2	0.0	3.2	0.0	0.0	9.7	-0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	56.5	0.0
3	7.7	0.0	0.0	0.0	19.6	9.6	0.3	6.5	2.0	0.0	65.5	8.2
Moyenne	4.0	1.6	0.0	0.0	15.7	5.7	0.2	3.5	1.0	0.0	62.5	4.2
Écart type	3.9	1.6	0.0	0.0	5.2	5.3	0.1	3.3	1.0	0.0	5.2	4.1

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux écailles d'arachides avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	7.22	-1.57	0.00	0.00	34.97	15.01	-0.03	-3.39	-1.04	1.23	21.26	3.28
s_d	4.31	1.61	0.00	0.00	5.70	5.74	0.08	3.14	0.98	1.07	3.68	3.94
t	2.90	-1.69	N.A.	N.A.	10.62	4.53	-0.63	-1.87	-1.82	2.00	9.99	1.44

N.A. : Non applicable

Pailis de cèdre - lixiviat d'un sol contaminé - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	46.1	0.0	27.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	46.9	0.0
2	0.0	0.0	32.4	0.0	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	0.0
3	0.0	0.0	32.4	0.0	24.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.3	0.0
Moyenne	0.0	0.0	37.0	0.0	23.8	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	43.3	0.0
��cart type	0.0	0.0	7.9	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	4.1	0.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du pailis de cèdre traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	4.4	0.0	0.0	0.0	13.0	4.7	0.0	4.8	2.6	0.0	34.7	5.5
2	5.0	0.0	0.0	0.0	12.9	5.3	0.0	5.3	4.3	0.0	35.6	6.7
3	2.7	0.0	0.0	0.0	11.9	3.7	0.0	4.3	1.2	0.0	29.7	4.8
Moyenne	4.0	0.0	0.0	0.0	12.6	4.5	0.0	4.8	2.7	0.0	33.3	5.6
��cart type	1.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.8	0.0	0.5	1.5	0.0	3.2	0.9

Traitement statistique du test paramétrique pa  r   de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au pailis de c  dre avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-4.02	0.00	36.97	0.00	11.20	-4.54	0.00	-4.80	-2.33	0.00	9.98	-5.63
s_d	1.21	0.00	7.94	0.00	4.87	0.81	0.00	0.50	1.70	0.00	6.01	0.95
t	-5.77	N.A.	8.06	N.A.	3.98	-9.71	N.A.	-16.59	-2.37	N.A.	2.88	-10.29

N.A. : Non applicable

Mousse de tourbe - lixiviat d'un sol contaminé - traitement acide

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	6.0	0.0	3.2	0.0	48.9	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	37.3	5.7
2	0.0	0.0	0.0	0.0	45.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.6	0.0
3	0.0	0.0	24.7	0.0	46.1	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	34.2	0.0
Moyenne	2.0	0.0	9.3	0.0	46.7	0.0	0.0	0.3	0.0	4.0	36.0	1.9
Écart type	3.5	0.0	13.4	0.0	1.9	0.0	0.0	0.5	0.0	7.0	1.6	3.3

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe traitement acide

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	14.3	18.3	0.0	0.0	32.3	17.0	3.1	0.0	0.0	0.0	24.3	0.0
2	22.3	7.1	0.0	0.0	39.0	23.2	3.0	5.2	5.0	0.0	29.8	5.2
3	24.5	4.2	0.0	0.0	40.3	24.8	3.1	6.6	8.1	0.0	35.0	5.5
Moyenne	20.4	9.9	0.0	0.0	37.2	21.7	3.1	3.9	4.4	0.0	29.7	3.5
Écart type	5.3	7.4	0.0	0.0	4.3	4.1	0.0	3.5	4.1	0.0	5.3	3.1

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués à la mousse de tourbe avec un traitement acide et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-18.36	-9.78	9.31	0.00	9.56	-21.66	-3.05	-3.63	-4.37	4.03	6.32	-1.64
s_d	8.74	7.28	13.41	0.00	6.11	4.12	0.05	4.01	4.09	6.98	6.88	6.35
t	-3.64	-2.33	1.20	N.A.	2.71	-9.10	-108.12	-1.57	-1.85	1.00	1.59	-0.45

Copeaux de pin gris et d'épinette - lixiviat d'un sol contaminé - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	7.3	2.3	0.0	0.0	29.7	5.6	0.1	0.0	0.0	0.0	69.0	0.0
2	1.9	0.6	0.0	0.0	22.2	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	67.4	0.0
3	0.0	0.8	0.0	0.0	22.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	61.8	0.0
Moyenne	3.1	1.3	0.0	0.0	24.7	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	66.0	0.0
Écart type	3.8	0.9	0.0	0.0	4.3	3.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des copeaux de pin gris et d'épinette traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	11.6	0.0	0.0	0.0	40.7	19.3	0.0	2.2	0.0	15.8	78.3	1.9
2	12.2	0.0	0.0	0.0	40.3	21.0	0.0	2.3	0.0	36.2	81.0	2.4
3	7.8	0.0	0.0	0.0	42.1	23.4	0.0	0.0	0.0	23.6	74.1	0.0
Moyenne	10.6	0.0	0.0	0.0	41.0	21.2	0.0	1.5	0.0	25.2	77.8	1.4
Écart type	2.4	0.0	0.0	0.0	0.9	2.1	0.0	1.3	0.0	10.3	3.5	1.3

**Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux copeaux de pin gris et d'épinette avec un traitement phosphate et sans traitement**

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-7.51	1.25	0.00	0.00	-16.32	-19.10	0.18	-1.49	0.00	-25.20	-11.77	-1.44
s_d	3.01	0.92	0.00	0.00	4.67	4.96	0.10	1.29	0.00	10.29	2.24	1.28
t	-4.32	2.36	N.A.	N.A.	-6.05	-6.67	2.97	-2.00	N.A.	-4.24	-9.08	-1.95

N.A. : Non applicable

Paillis de cacao - lixiviat d'un sol contaminé - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du paillis de cacao sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	58.6	0.0	0.0	0.0	72.9	68.2	0.3	6.1	7.8	0.0	93.1	19.9
2	58.5	0.0	8.3	0.0	73.0	69.6	0.3	7.2	9.7	0.0	90.8	19.8
3	58.9	0.0	16.2	0.0	72.6	68.7	0.3	5.8	7.3	0.0	94.0	18.7
Moyenne	58.7	0.0	8.2	0.0	72.8	68.9	0.3	6.3	8.2	0.0	92.6	19.4
Écart type	0.2	0.0	8.1	0.0	0.2	0.7	0.0	0.7	1.3	0.0	1.6	0.7

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du paillis de cacao traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	87.6	0.0	0.0	0.0	97.6	96.3	0.0	20.9	0.0	36.6	92.5	58.8
2	85.5	0.0	0.0	0.0	97.6	95.9	0.1	25.1	0.0	63.4	94.0	62.7
3	86.9	0.0	0.0	0.0	97.9	96.8	0.1	23.2	0.0	65.3	96.6	66.9
Moyenne	86.7	0.0	0.0	0.0	97.7	96.3	0.0	23.1	0.0	55.1	94.4	62.8
Écart type	1.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	2.1	0.0	16.0	2.1	4.0

Traitement statistique du test paramétrique paillé de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au paillis de cacao avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
d	-27.99	0.00	8.18	0.00	-24.86	-27.46	0.26	-16.73	8.23	-55.11	-1.75	-43.33
s _d	1.04	0.00	8.12	0.00	0.36	1.07	0.01	1.67	1.26	16.04	2.09	4.66
t	-46.69	N.A.	1.74	N.A.	-119.72	-44.65	31.92	-17.31	11.31	-5.95	-1.45	-16.10

N.A. : Non applicable

Écailles d'arachides - lixiviat d'un sol contaminé - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	11.4	0.0	0.0	0.0	50.1	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	7.4
2	11.6	0.0	0.0	0.0	51.2	21.3	0.2	0.0	0.0	1.9	80.9	7.4
3	10.7	0.0	0.0	0.0	50.6	20.8	0.2	0.3	0.0	1.9	87.7	7.7
Moyenne	11.3	0.0	0.0	0.0	50.7	20.8	0.1	0.1	0.0	1.2	83.7	7.5
Écart type	0.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.1	0.2	0.0	1.1	3.6	0.2

Rendement d'adsorption (%) après 24 h des écailles d'arachides traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	11.0	0.5	0.0	0.0	53.2	19.4	0.0	0.5	0.0	0.0	77.4	4.9
2	9.9	0.0	0.0	0.0	54.6	19.7	0.0	0.1	0.0	12.6	80.0	4.7
3	8.0	0.0	0.0	0.0	51.4	16.3	0.0	0.0	0.0	2.8	75.7	2.9
Moyenne	9.6	0.2	0.0	0.0	53.1	18.5	0.0	0.2	0.0	5.1	77.7	4.2
Écart type	1.5	0.3	0.0	0.0	1.6	1.9	0.0	0.2	0.0	6.6	2.1	1.1

**Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués aux écailles d'arachides avec un traitement phosphate et sans traitement**

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	1.65	-0.16	0.00	0.00	-2.41	2.26	0.12	-0.08	0.00	-3.90	6.06	3.32
s_d	1.18	0.28	0.00	0.00	1.46	1.94	0.09	0.38	0.00	5.92	5.59	1.29
t	2.43	-1.00	N.A.	N.A.	-2.86	2.02	2.48	-0.35	N.A.	-1.14	1.88	4.46

N.A. : Non applicable

Paillis de cèdre - lixiviat d'un sol contaminé - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du paillis de cèdre sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	0.0	0.0	46.1	0.0	27.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	46.9	0.0
2	0.0	0.0	32.4	0.0	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	0.0
3	0.0	0.0	32.4	0.0	24.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.3	0.0
Moyenne	0.0	0.0	37.0	0.0	23.8	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	43.3	0.0
Écart type	0.0	0.0	7.9	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	4.1	0.0

Rendement d'adsorption (%) après 24 h du paillis de cèdre traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	97.2	0.0	0.0	0.0	95.2	97.4	0.0	22.4	0.0	9.2	100.0	85.1
2	96.5	0.0	0.0	0.0	94.6	96.8	0.0	20.5	0.0	42.5	100.0	81.8
3	96.5	0.0	0.0	0.0	94.6	96.8	0.0	20.5	0.0	42.5	100.0	81.8
Moyenne	96.7	0.0	0.0	0.0	94.8	97.0	0.0	21.1	0.0	31.4	100.0	82.9
Écart type	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	1.1	0.0	19.2	0.0	1.9

Traitement statistique du test paramétrique paillé de comparaison des moyennes de Student Résultats appliqués au paillis de cèdre avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-96.75	0.00	36.97	0.00	-71.03	-97.01	0.00	-21.12	0.40	-31.44	-56.26	-82.92
s_d	0.43	0.00	7.94	0.00	4.53	0.31	0.00	1.13	0.69	19.22	4.07	1.87
t	-392.23	N.A.	8.06	N.A.	-27.15	-550.26	N.A.	-32.41	1.00	-2.83	-24.77	-76.68

N.A. : Non applicable

Mousse de tourbe - lixiviat d'un sol contaminé - traitement phosphate

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe sans traitement

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	6.0	0.0	3.2	0.0	48.9	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	37.3	5.7
2	0.0	0.0	0.0	0.0	45.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.6	0.0
3	0.0	0.0	24.7	0.0	46.1	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	34.2	0.0
Moyenne	2.0	0.0	9.3	0.0	46.7	0.0	0.0	0.3	0.0	4.0	36.0	1.9
Écart type	3.5	0.0	13.4	0.0	1.9	0.0	0.0	0.5	0.0	7.0	1.6	3.3

Rendement d'adsorption (%) après 24 h de la mousse de tourbe traitement phosphate

Réplica	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
1	91.4	0.0	0.0	0.0	96.7	97.4	0.0	9.9	0.0	46.6	97.2	26.4
2	92.3	0.0	0.0	0.0	97.0	97.8	0.0	11.2	0.0	57.2	100.0	31.1
3	92.9	0.0	0.0	0.0	97.3	97.6	0.0	12.7	0.0	44.9	100.0	33.6
Moyenne	92.2	0.0	0.0	0.0	97.0	97.6	0.0	11.3	0.0	49.5	99.1	30.4
Écart type	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	1.4	0.0	6.7	1.6	3.6

Traitement statistique du test paramétrique païré de comparaison des moyennes de Student
Résultats appliqués à la mousse de tourbe avec un traitement phosphate et sans traitement

Statistique	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
$\bar{d}$	-90.20	0.00	9.31	0.00	-50.26	-97.58	0.00	-10.97	0.00	-45.50	-63.42	-28.47
s_d	4.11	0.00	13.41	0.00	2.13	0.22	0.00	1.83	0.00	12.23	3.06	6.80
t	-37.97	N.A.	1.20	N.A.	-40.92	-771.30	N.A.	-10.39	N.A.	-6.45	-35.88	-7.25

N.A. : Non applicable

