UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉLIMINATION DU PHOSPHORE DISSOUS DES EFFLUENTS PISCICOLES À L'AIDE DE MATÉRIAUX GRANULAIRES RÉACTIFS

CHRISTIANE FORGET
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
MARS 2001

© Christiane Forget, 2001

National Library of Canada
Bibliothèque nationale du Canada

Acquisitions and Bibliographic Services
Acquisitions et services bibliographiques

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-65574-1

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

ÉLIMINATION DU PHOSPHORE DISSOUS DES EFFLUENTS PISCICOLES À L'AIDE DE MATÉRIAUX GRANULAIRES RÉACTIFS

présenté par: FORGET Christiane

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. DESJARDINS Raymond, M.Ing., président

M. CHAPUIS Robert P., D.Sc.A, membre et directeur de recherche

M. COMEAU Yves, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. DARLING Richard, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier le CRSNG et la Société de recherche de développement en aquiculture continentale (SORDAC) qui ont financé ce projet de recherche.

Merci aux professeurs Robert P. Chapuis, Yves Comeau et Michel Aubertin pour leur expertise et leurs bons conseils.

Un grand merci à Aleksandra pour l'encadrement, les bons conseils, les encouragements et les merveilleux moments passés au laboratoire.

Merci à Jacques et à Simon pour avoir mis de la vie dans le projet grâce à leurs roseaux et quenouilles.

Je tiens ensuite à remercier tout spécialement Denis Bouchard qui a toujours su être là pour moi. Un grand merci à Antonio Gatien, Christian Dallaire, Louis Bernier, Benoît Julien et Marcel Dugal pour leur aide technique. Merci aussi à Michel Piché de la compagnie Heckett Multiserv d'avoir fourni les scories d'acier et d'avoir montré un grand intérêt pour notre étude.

Merci à tous mes collègues et amis Geneviève, Anne-Marie, Christian, Martin, Renaud, Louis-Philippe, et Mathieu pour les discussions de toutes sortes et les fous rires. Merci à Guillaume, Mireille, Claudine, Krist, Britta, Samuel, Raphaël et tous les autres étudiants d'Yves Comeau pour avoir organisé des activités et des rencontres et m'avoir ainsi permis de décrocher temporairement du phosphore. Merci à Claude et Bertrand, les membres du Biodôme, pour les longues conversations à propos des scories d'acier.

Merci à Bawi ainsi qu'à mes parents, Ronald et Nicole, ma sœur Sylviane et mon frère Éric pour avoir vécu avec moi les hauts et les bas de la maîtrise.

Finalement, je remercie tous ceux qui ont fait en sorte que ce projet se réalise en y participant de près ou de loin.

RÉSUMÉ

Les piscicultures utilisent principalement l'eau souterraine pour réaliser l'élevage du poisson, représentant ainsi au Québec le deuxième secteur d'importance de consommation d'eau souterraine après l'utilisation pour la consommation humaine. Ces eaux subissent des changements lors de leur utilisation en pisciculture et leur rejet dans les cours d'eau a un impact sur l'environnement.

Malgré sa faible concentration dans les effluents piscicoles, le phosphore est le seul paramètre problématique puisque son apport massique reste relativement élevé dû aux forts débits à la sortie des bassins d'élevage. Le Ministère de l'Environnement du Québec prépare donc une nouvelle directive sur les exigences environnementales quant au rejet de nutriments des piscicultures et utilise en attendant les objectifs environnementaux de rejet. L'expansion de la production piscicole québécoise est présentement limitée par ces objectifs et plusieurs pisciculteurs sont inquiets face à l'avenir de leur secteur de production.

Étant donné les faibles concentrations en phosphore et les forts débits des effluents piscicoles, les techniques habituelles de traitement sont difficilement applicables ou peu rentables. Dans ce contexte, l'utilisation de marais artificiels est proposée puisque c'est une technique de traitement qui s'est avérée, antérieurement, efficace et peu coûteuse. Le traitement de tout l'effluent à l'aide de marais artificiels semble techniquement impossible puisqu'il engendrerait des charges hydrauliques trop élevées à l'entrée du marais, ce qui favoriserait la formation de chemins préférentiels. C'est pourquoi le traitement de boues récupérées de diverses façons au sein de la pisciculture est suggéré.

Le matériau granulaire joue un rôle important dans l'enlèvement du phosphore dissous par marais artificiels grâce à des processus d'adsorption et de précipitation. La sélection du meilleur matériau est donc essentielle afin de maximiser l'efficacité du système de traitement. Les deux principaux objectifs de cette étude étaient de sélectionner les matériaux granulaires les plus performants et d'évaluer leur efficacité d'enlèvement du phosphore ainsi que les mécanismes impliqués.

Pour ce faire, 57 matériaux ont été récupérés selon deux hypothèses, soit que les matériaux riches en Ca, Al et Fe sont efficaces pour immobiliser le phosphore dissous et que les matériaux ayant un "zero point of charge" (pH_{ZPC}) élevé favorisent l'adsorption d'anions, tels les phosphates. Un outil expérimental adéquat devait ensuite être défini pour sélectionner les meilleurs de ces matériaux. Bien que les essais en flacons soient souvent utilisés, les données obtenues de ces essais varient selon les conditions expérimentales et les résultats présentés dans la littérature sont difficilement comparables. Il y a donc un réel besoin d'établir un protocole standard pour les essais en flacons. L'étude de l'influence des divers paramètres du protocole nous a permis de suggérer des valeurs pour ces paramètres.

L'utilité de la modélisation des résultats des essais en flacons à l'aide d'équations mathématiques, particulièrement celles de Langmuir et Freundlich, a ensuite été évaluée. La modélisation des isothermes selon une seule équation s'est avérée impossible dans cette étude et l'utilisation de plusieurs modèles mathématiques pour représenter les isothermes rend la comparaison des paramètres difficile. La modélisation ne semble donc pas un bon outil ou sinon un outil trop complexe pour la sélection de matériaux et n'a pas été retenue pour cette étude.

Une nouvelle orientation a donc été prise en sélectionnant les matériaux selon une méthode simple et comparative, soit la détermination d'un coefficient R_d, tel que suggéré par la norme ASTM D4646-87. Cette méthode ne permet pas de déterminer un maximum d'enlèvement, mais est très utile à des fins de comparaison. Les matériaux sélectionnés, soit la serpentine et la scorie, ont obtenu des coefficients R_d élevés, mais aussi avaient des propriétés physiques et des coûts qui justifiaient leur utilisation.

Les scories d'acier et la serpentine ont été testés en colonnes soit seuls soit mélangés à du calcaire afin de déterminer leur efficacité ainsi que les mécanismes impliqués dans l'enlèvement du phosphore. Les scories d'acier se sont montrées particulièrement efficaces grâce aux mécanismes d'adsorption spécifique sur les hydroxydes de métaux et de précipitation d'hydroxylapatite. Les serpentines ont aussi bien performé en début d'essai, mais beaucoup moins que les scories par la suite étant donné que le phosphore

semble avoir été enlevé uniquement par adsorption. L'ajout de calcaire n'a pas amélioré l'efficacité des matériaux et a même diminué celle de la serpentine.

Le maximum d'enlèvement du phosphore n'a été atteint ni pour les scories ni pour la serpentine. Environ 1 mg P/g a été enlevé par les matériaux à base de serpentine alors que les matériaux à base de scories ont enlevé en moyenne 2,2 mg P/g. Les résultats obtenus par les scories ont été mis en perspective par l'estimation de la performance d'un lit filtrant à pleine échelle. Une application de 0,46 g P/kg effectuée lors de la première série d'essais, avec des taux d'enlèvement de près de 100%, représente une utilisation d'un système à pleine échelle d'environ 2 ans. Une application totale de 2,41 g P/kg effectuée lors des essais représente cette fois une utilisation de 10 ans d'un système à pleine échelle. Le temps de séjour hydraulique a influencé l'enlèvement du phosphore par les scories d'acier puisqu'il représente un facteur déterminant dans la croissance des cristaux d'hydroxylapatite. L'augmentation de ce paramètre causée par des problèmes de colmatage a permis aux scories d'acier d'augmenter leur efficacité de 80 à 100% en cours d'essai.

L'hydroxylapatite est le phosphate de calcium le plus stable après la fluoroapatite à des pH relativement élevés. À ces pH, l'hydroxylapatite est formée même si les concentrations en phosphore et en calcium sont faibles. Ce mécanisme d'enlèvement est donc très efficace pour traiter des effluents dont les critères de rejets sont stricts, comme c'est le cas pour les effluents piscicoles. C'est aussi un moyen durable d'immobiliser le phosphore puisque la mise en solution de l'hydroxylapatite se fait à des concentrations en solution très faibles ou si le milieu granulaire n'arrive plus à maintenir un pH élevé.

L'utilisation de scories d'acier dans les marais artificiels ou lits filtrants semble très prometteuse dans un contexte piscicole. Des effluents réels devraient toutefois être testés afin de définir l'influence de la matière organique sur les processus d'enlèvement du phosphore par les matériaux granulaires réactifs. Un suivi exhaustif des concentrations en métaux dans les effluents des lits de scories devrait également être effectué afin de confirmer la stabilité des métaux contenus dans les scories d'acier.

ABSTRACT

In Quebec, fish farms are in essence using groundwater for their fish production, representing the second most important sector of groundwater consumption, after human consumption. The use of groundwater in fish farms is affecting its quality and discharge of this water into streams and surrounding watercourses may have a negative impact on the environment.

Even though its concentration is low in fish farm effluent, phosphorus is the major problematic parameter. Its mass addition is relatively high due to the high outlet flow rates of fish basins. Therefore, the MENV is currently preparing new guidelines for the environmental requirements of fish farm nutrient discharge. In the meantime, environmental discharge objectives are being used. The expansion of fish farming in Quebec is presently limited by these objectives and many fish farmers are concerned about the future of their production sector.

Because of the low phosphorus concentrations and the high flow rates of the fish farm effluents, the conventional treatment technologies are difficult to apply or not economical. In this context, the use of constructed wetlands is proposed because this technology has been recognized in the past as an efficient and economical treatment system. Presently, the treatment of the whole effluent via constructed wetlands seems physically impossible and therefore the treatment of sludge collected by different methods within the fish farm is suggested.

The substrate plays a major role in phosphorus removal via constructed wetlands through adsorption and precipitation processes. The selection of the most suitable substrate is therefore essential in order to maximize the efficiency of the treatment system. The two main objectives of this study were to select the most suitable substrates and to evaluate their phosphorus removal efficiency; in addition, the removal mechanisms were investigated.

Fifty-seven substrates have been collected in respect of two hypotheses: materials rich

in Ca, Al and Fe efficiently immobilize phosphorus and materials with a high zero point of charge (ZPC), the pH at wich the surface charge is zero, increase the phosphate adsorption. An accurate experimental tool had to be found for the selection of substrate. Even though batch experiments have often been employed, the results obtained from those tests vary depending on the experimental conditions, making the comparison of results presented in the literature difficult. There is a real need to establish a standard protocol for such batch experiments. The study of the effects of the different parameters of the protocol has permitted us to suggest some values for those parameters.

The use of isotherm modeling with mathematical equations, particularly the Langmuir and Freundlich equations, was evaluated. The modeling of all the isotherms with only one equation was not possible in this study, and the use of multiple mathematical models to represent the isotherms made parameter comparison rather difficult. Modeling proved to be far too complex for the selection of the substrates and as such did not seem to be an adequate tool for this study.

Therefore, a new approach was adopted for the substrate selection, determining an R_d coefficient following a simple and comparative procedure suggested by the standard method ASTM D4646-87. Even though this method does not allow the estimation of maximum phosphorus removal, it is still very useful and straightforward for comparison purposes. The selected materials, serpentine and steel slag, had high R_d coefficients as well as physical properties and costs that justified their use.

Steel slag and serpentine have been tested in columns either alone or mixed with limestone to determine their efficiency and also the mechanisms involved in phosphorus removal. Steel slag was particularly efficient due to specific adsorption on metal hydroxides and precipitation of hydroxylapatite. The performance of serpentine was also initially good but decreased with time, indicating that adsorption was the predominant mechanism for phosphorus removal in this material. Mixing limestone with these two substrates did not make any improvement, and in a case of serpentine it actually decreased performance.

Maximum phosphorus removal was not reached either for steel slag or for serpentine. About 1 mg P/g has been removed by serpentine mixtures while steel slag mixtures have removed an average of 2,2 mg P/g. The results obtained for steel slag were used to estimate the performance of a full-scale filter bed. During the first series of tests, a total of 0,46 g P/kg was applied, with removal rates close to 100%, which corresponds to two years use of a full-scale system. A total of 2,41 g P/kg was applied during the whole period of investigation and this amount corresponds to 10 years use of the full-scale system. The hydraulic retention time had an effect on the phosphorus removal of steel slag since it represents a determining factor in the growth of hydroxylapatite crystals. The increase of this parameter caused by clogging problems resulted in an increase of steel slag efficiency from 80 to 100% towards the end of the experiment.

Hydroxylapatite is the most stable calcium phosphate after fluroapatite at relatively high pH. At this pH, hydroxylapatite is formed even if phosphorus and calcium concentrations are low. This removal mechanism is therefore really efficient to treat effluents that have strict guidelines, which is the case for fish farm effluents. It is also a stable way to retain phosphorus since the solubilisation of hydroxylapatite occurs at very low concentrations in solution or if the substrate can not maintain a high pH.

The use of steel slag in constructed wetlands or filter beds seems very promising in a fish-farming context. However, real effluents should be tested in order to determine the influence of organic matter on phosphorus removal processes by reactive substrates. An exhaustive follow-up of the metal concentrations in the effluents of steel slag beds should also be done to confirm the chemical stability of the metals comprised in steel slag.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iv
RÉSUMÉ v
ABSTRACT viii
TABLE DES MATIÈRES xi
LISTE DES TABLEAUX xiv
LISTE DES FIGURES xv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS xvii
LISTE DES ANNEXES xix

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION 1
1.1 Problématique 1
1.2 Hypothèse 1
1.3 Objectifs 1
1.4 Méthodologie et contenu du mémoire 2

CHAPITRE 2 : MISE EN SITUATION 3
2.1 Historique de l'aquiculture au Québec 3
2.2 Impacts potentiels des activités piscicoles 3
2.3 Réglementation 5
2.4 Technique de traitement proposée 6

CHAPITRE 3 : REVUE DE LITTÉRATURE 8
3.1 Marais artificiels et lits filtrants 8
3.1.1 Définition 8
3.1.2 Types de marais artificiels 10
3.1.3 Types de lits filtrants pour l'enlèvement du P 13
3.1.4 Hydrogéologie 15
3.2 Mécanismes d'enlèvement du phosphore par le matériau granulaire 17

3.2.1 Adsorption 17
3.2.2 Précipitation 21
3.3 Évaluation du potentiel d'adsorption des substrats 25
3.3.1 Essais d'adsorption en flacons 25
3.3.2 Essais en colonnes 31

CHAPITRE 4 ESSAIS D'ADSORPTION EN FLACONS 33
4.1 Objectifs 33
4.2 Inventaire des matériaux 33
4.3 Protocole expérimental pour les essais d'adsorption en flacons 34
4.3.1 Quantité de matériau, ratio matériau / solution et vitesse d'agitation 34
4.3.2 Essais avec différents électrolytes 38
4.3.3 Effet du temps de contact 39
4.3.4 Protocole proposé pour cette étude 42
4.4 Performance des matériaux selon des modèles mathématiques 43
4.5 Performance des matériaux selon le coefficient Rd 47
4.5.1 Méthodologie 47
4.5.2 Résultats 47
4.6 Sélection des matériaux 48

CHAPITRE 5 ESSAIS EN COLONNES 51
5.1 Objectifs 51
5.2 Caractérisation des matériaux 51
5.2.1 Description des matériaux choisis 51
5.2.2 Analyses minéralogiques 54
5.2.3 Analyses chimiques 55
5.3 Matériel et méthodes 57
5.3.1 Montage expérimental 57
5.3.2 Suivi expérimental 59

5.3.3 Démontage des colonnes 60
5.4 Résultats 61
5.4.1 La performance d'enlèvement du phosphore 61
5.4.2 Capacité d'enlèvement du phosphore par les matériaux 66
5.4.3 Enlèvement massique 68
5.4.4 Bilans ioniques 71
5.4.5 Concentrations en métaux 73
5.4.6 Mécanismes d'enlèvement 75
5.4.7 Stabilité interne 77

CHAPITRE 6 DISCUSSION ET CONCLUSIONS 79
6.1 Contexte 79
6.2 Inventaire des matériaux 79
6.3 Essais en flacons et modèles mathématiques 80
6.4 Essais en flacons et coefficient R_d 81
6.5 Le choix des matériaux et de leur granulométrie 81
6.6 Essais en colonnes 82
6.6.1 Montage expérimental 82
6.6.2 Interprétation des résultats 82
6.6.3 Mécanismes d'enlèvement 84
6.6.4 Incertitudes et essais futurs 86

RÉFÉRENCES 87
ANNEXES 96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Les caractéristiques des effluents piscicoles et des cours d'eau récepteurs et critères de qualité de l'eau (adapté de Ouellet, 1999) 5
Tableau 3.1 : Essais d'adsorption de P en flacons 26
Tableau 3.2 : Essais d'adsorption en colonnes 32
Tableau 4.1 : Protocoles utilisés pour les essais d'adsorption des phosphates 35
Tableau 4.2 : Surface spécifique moyenne pour chacun des protocoles 38
Tableau 4.3 : Paramètres suggérés pour les essais d'adsorption en flacons. 43
Tableau 4.4 : Modèles mathématiques représentant les isothermes d'adsorption 44
Tableau 4.5 : Propriétés physiques des matériaux sélectionnés 50
Tableau 5.1 : Caractérisation minéralogique des matériaux testés 54
Tableau 5.2 : Analyses chimiques des matériaux testés 56
Tableau 5.3 : Concentration de certains métaux dans l'effluent des colonnes et critères de qualité d'eau de surface au Québec (mg/L) 74

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Gestion des boues 7
Figure 3.1 Mécanismes d'enlèvement du phosphore 9
Figure 3.2 : Système avec plantes flottantes 11
Figure 3.3 : Système avec plantes submergées 11
Figure 3.4 : Système avec plantes émergentes. 13
Figure 3.5 : Applications d'un matériau granulaire réactif 14
Figure 3.6 : Effet de dispersion dans une colonne 16
Figure 3.7 : Modèles de distribution des ions à l'interface solide - liquide 20
Figure 3.8 : Solubilités des phosphates de fer, aluminium et calcium 21
Figure 3.9 : Solubilité de la variscite ($AlPO_4$) et de la gibbsite ($Al(OH)_3$) 22
Figure 3.10 : Cinétique de la précipitation des phosphates de calcium 24
Figure 3.11 : Classification des isothermes d'adsorption 29
Figure 4.1 : Enlèvement des phosphates en mg P/g de matériau. 36
Figure 4.2 : Courbes granulométriques des échantillons de calcaire utilisés pour les essais d'adsorption en flacons 37
Figure 4.3 : Isothermes d'adsorption avec divers électrolytes 39
Figure 4.4 : Effet du temps de contact sur l'allure de l'isotherme LF 41
Figure 4.5 : Variation de la concentration dans le temps 42
Figure 4.6 : Résultats des essais d'adsorption. 45
Figure 4.7 : Coefficient d'adsorption des matériaux les plus performants 48
Figure 4.8 : Courbe granulométrique des scories d'acier (0 à 5 mm) 50
Figure 5.1 : Matériaux testés en colonnes 52
Figure 5.2 : Montage d'une colonne 58
Figure 5.3 : Montage expérimental 59
Figure 5.4 : Précipitation dans les colonnes contenant de la scorie d'acier 60
Figure 5.5 : Efficacité d'enlèvement du P par les matériaux à base de serpentine 63
Figure 5.6 : Efficacité d'enlèvement du P par les matériaux à base de scories d'acier. 65
Figure 5.7 : Capacité d'enlèvement du P 67

Figure 5.8 : Enlèvement massique (en fonction du nombre de volumes de pores) 69
Figure 5.9 : Comparaison de l'efficacité des matériaux. 71
Figure 5.10 : Bilan ionique de l'effluent de la colonne C1 72
Figure 5.11 : Concentration en calcium des effluents des colonnes C et D. 73
Figure 5.12 : Cliché de diffraction des rayons-X 76
Figure 5.13 : Courbes granulométriques des échantillons prélevés lors du démontage des colonnes 78

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

A	:	aire de la section du lit filtrant perpendiculaire à l'écoulement [L^2]
C	:	concentration à un temps t [ML^{-3}]
C_e	:	concentration des phosphates à l'équilibre [ML^{-3}]
C_o	:	concentration initiale [ML^{-3}]
$C_{24\,h}$	:	concentration après 24 h [ML^{-3}]
DBO_5	:	demande biologique en oxygène [ML^{-3}]
D_d'	:	coefficient de diffusion effectif [L^2T^{-1}]
J	:	flux chimique de la masse [$ML^{-2}T^{-1}$]
k	:	conductivité hydraulique [LT^{-1}]
K_c	:	constante de la croissance des cristaux de phosphates [$ML^{-2}T^{-1}$]
K_F	:	coefficient d'adsorption selon Freundlich [L^3M^{-1}]
K_L	:	coefficient d'adsorption selon Langmuir [L^3M^{-1}]
K_{LF}	:	coefficient d'adsorption selon Langmuir-Freundlich [L^3M^{-1}]
M	:	maximum d'adsorption du phosphore [MM^{-1}]
M_s	:	masse sèche du matériau [M]
MES	:	matières en suspension [ML^{-3}]
n	:	ordre de la réaction
n_e	:	porosité effective du matériau
$N\text{-}NH_3\text{-}NH_4$	:	azote ammoniacal [ML^{-3}]
pH_{zpc}	:	pH "zero point charge"
P_t	:	phosphore total [ML^{-3}]
Q	:	débit [L^3T^{-1}]
R^2	:	coefficient de corrélation
R_d	:	coefficient d'enlèvement [L^3M^{-1}]
S	:	surface spécifique des cristaux [L^2M^{-1}]
t	:	temps suivant la période d'induction [T]
x/m	:	masse de phosphore adsorbée sur la masse de matériau testé [MM^{-1}]

β	:	coefficient de distribution exponentielle des sites d'adsorption et de leur énergie
Δh	:	différence de charge hydraulique [L]
ΔL	:	distance parcourue [L]

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 - INVENTAIRE DES MATÉRIAUX 96
ANNEXE 2 - ESSAIS D'ADSORPTION EN FLACONS 100
ANNEXE 3 – ESSAIS DE CARACTÉRISATION PHYSIQUE 135
ANNEXE 4 - ANALYSES MINÉRALOGIQUES 165
ANNEXE 5 - MONTAGE DES COLONNES 193
ANNEXE 6 - SUIVI EXPÉRIMENTAL 199
ANNEXE 7 - BILANS IONIQUES 229
ANNEXE 8 - CONCEPTION PRÉLIMINAIRE DE LITS DE SCORIES D'ACIER 238

CHAPITRE 1
INTRODUCTION

1.1 Problématique

La production piscicole québécoise est limitée à cause de ses impacts environnementaux. En effet, bien que les effluents piscicoles soient beaucoup plus dilués que les effluents municipaux moyennement chargés, les débits relativement élevés résultent en un apport massique important de polluants dans l'environnement. Le phosphore est notamment celui qui est le plus contraignant à enlever des effluents piscicoles. Les procédés physico-chimiques ou biologiques habituels de réduction du phosphore s'avèrent peu applicables et non rentables économiquement pour ce type d'effluent. Dans ce contexte, l'utilisation d'un procédé relativement passif et simple d'opération, tels les marais artificiels et/ou lits filtrants, est proposée.

1.2 Hypothèse

L'hypothèse à la base de ce projet est que l'enlèvement des orthophosphates présents dans les effluents piscicoles peut se faire à l'aide de marais artificiels ou lits filtrants à base de matériaux granulaires réactifs par des mécanismes d'adsorption et de précipitation.

1.3 Objectifs

Les objectifs principaux de cette étude étaient de sélectionner les matériaux granulaires les plus performants pouvant être éventuellement utilisés dans les marais artificiels ou lits filtrants et d'évaluer leur efficacité d'enlèvement du phosphore ainsi que les mécanismes impliqués.

1.4 Méthodologie et contenu du mémoire

Tout d'abord, le contexte du projet est expliqué en décrivant l'historique de l'aquiculture, ses impacts potentiels sur l'environnement et la réglementation qui lui est imposée (chapitre 2). Une description générale de la technique proposée, soit l'utilisation de marais artificiels, est ensuite présentée (section 3.1). Les principaux mécanismes impliqués dans l'enlèvement du phosphore par des matériaux granulaires réactifs sont décrits de façon à préciser le rôle du substrat dans les marais artificiels (section 3.2). Les outils expérimentaux utilisés par la plupart des auteurs pour évaluer la performance des matériaux ainsi que leurs limites sont définis à la section 3.3.

Les essais d'adsorption en flacons étant souvent utilisés pour évaluer la performance des matériaux granulaires, les divers paramètres du protocole ont été testés et des valeurs ont ensuite été suggérés pour chacun d'eux (section 4.3). L'utilité de la modélisation des résultats des essais en flacons à l'aide d'équations mathématiques est ensuite évaluée (section 4.4). Une méthodologie de sélection est finalement proposée (section 4.5).

Les matériaux sélectionnés ont été testés en colonnes afin de déterminer leur performance à moyen terme ainsi que les mécanismes d'enlèvement impliqués (chapitre 5). Une discussion a finalement permis de mettre l'emphase sur l'importance de la méthodologie utilisée pour la sélection des matériaux et de mettre en perspective les résultats obtenus lors des essais en colonnes (chapitre 6).

CHAPITRE 2
MISE EN SITUATION

2.1 Historique de l'aquiculture au Québec

La pisciculture est née au Québec, en 1857, de la nécessité de produire de jeunes poissons pour subvenir aux besoins grandissants de la pêche sportive. Les piscicultures québécoises produisaient beaucoup de poissons, principalement du saumon atlantique et de l'omble de fontaine, à des fins d'ensemencement. La production de salmonidés destinés au marché de la table est plus récente au Québec, mais représente des volumes croissants d'année en année. Les besoins québécois du marché de la consommation restent toutefois principalement comblés par l'importation.

L'augmentation de la demande de poissons d'ensemencement et de table, l'expertise grandissante des pisciculteurs, les aides techniques et financières du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et les efforts de regroupement de la part des producteurs pour une mise en commun des produits, des services et des équipements, sont en voie de développer une industrie florissante (Morin, 1997). La pisciculture québécoise est effectivement en plein essor, sa production étant passée de 43 tonnes en 1976 à 1900 tonnes en 1996 (Morin, 1998). Compte tenu des perspectives actuelles des marchés pour la truite de table et pour l'ensemencement, cette croissance devrait se poursuivre dans l'avenir.

2.2 Impacts potentiels des activités piscicoles

Malgré sa grande croissance, la production piscicole québécoise accuse un net retard en comparaison avec ce qui se fait ailleurs au Canada et dans le monde. Pour rentabiliser leurs entreprises, les pisciculteurs québécois doivent donc intensifier leur production et cette intensification apporte des changements à la qualité de l'eau (Ouellet, 1999), tels la diminution de la concentration en oxygène dissous, l'augmentation des rejets reliés au métabolisme du poisson (déchets organiques, composés azotés et phosphorés), le changement de la température de l'eau, le changement du pH et l'augmentation des

matières en suspension et du phosphore reliés aux aliments non ingérés. Ces différents changements peuvent avoir un impact sur les écosystèmes et constituent un frein au développement de plusieurs entreprises.

Le paramètre qui semble être le plus problématique dans les rejets piscicoles est le phosphore total, puisque cet élément contribue à l'eutrophisation des milieux aquatiques d'eau douce, étant l'élément limitant la croissance des plantes. Les bassins d'une pisciculture moyenne produisant 100 tonnes de poissons par année ont besoin d'un apport d'environ 10 000 m^3/d d'eau afin de conserver la concentration en ammoniac (NH_3) à une valeur non toxique pour les poissons. Cette dilution résulte en une concentration en phosphore total d'environ 0,30 mg P/L en été et 0,16 mg P/L en hiver. Les effluents piscicoles séjournent ensuite environ 2 heures dans un étang de sédimentation avant d'être retournés à la rivière. La concentration en phosphore total est alors réduite à environ 0,24 mg P/L en été et 0,14 mg P/L en hiver. Malgré cette faible concentration en phosphore, les apports massiques restent relativement élevés dus aux forts débits à la sortie des bassins piscicoles.

Les rivières recevant les effluents des étangs de sédimentation doivent donc respecter des critères de qualité de l'eau (tableau 2.1). Pour le phosphore, un cours d'eau ne se déversant pas dans un lac et qui reçoit un effluent piscicole doit respecter une concentration de 0,03 mg P_t/L après que les eaux se soient mélangées. Dans le cas d'un cours d'eau récepteur se déversant dans un lac, le critère de qualité retenu est de 0,02 mg P_t/L tant que la situation environnementale n'ait pas atteint un seuil problématique ou ne soit aucunement susceptible de l'atteindre. En ce qui concerne les lacs, leur concentration en P_t ne doit pas augmenter de plus de 50% et doit également être inférieure à 0,02 mg P_t/L après l'implantation d'une pisciculture si la concentration naturelle en P_t de l'eau du lac se situe entre 0,01 et 0,02 mg P_t/L. Lorsque cette dernière est inférieure à 0,01 mg P_t/L, la concentration en P_t doit rester inférieure ou égale à 0,01 mg P_t/L. Au Québec, les cours d'eau récepteurs des effluents piscicoles dépassent le critère de qualité de l'eau pour le phosphore, particulièrement en été (tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Les caractéristiques des effluents piscicoles et des cours d'eau récepteurs et critères de qualité de l'eau (adapté de Ouellet, 1999)

Paramètre	Effluents piscicoles[1] Concentrations moyennes (mg/L)		Cours d'eau récepteurs Concentrations moyennes (mg/L)		Vie aquatique Concentrations (mg/L)
	Été	Hiver	Été	Hiver	
DBO_5 t	6,7	3,6	5,5	2,6	3,0
MES	9,6	5,2	1,8	0,9	+ 10
$N\text{-}NH_3\text{-}NH_4$	1,4	0,8	0,26	0,18	Variable selon le pH et la T°
P_t	0,30	0,16	0,05	0,03	➢ Pour les cours d'eau: **0,03** ➢ Pour les cours d'eau en amont d'un lac non problématique: **0,02** ➢ Pour les lacs (période sans glace): **+50% et ≤0,02** (si 0,01 ≤ conc. nat.≤ 0,02) **+50% et ≤ 0,01** (si conc. nat < 0,01)

[1] Effluents piscicoles à l'amont de l'étang de sédimentation

2.3 Réglementation

Pour contrer plusieurs impacts potentiels des rejets piscicoles sur la qualité des eaux, le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) a mis en place, au début des années 1980, plusieurs règlements ou directives établis en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (Q-2) ou de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (C-61.1). Ces différentes dispositions permettent de mitiger la majorité des impacts potentiels de la pisciculture, sauf les rejets en nutriments. En effet, la directive sur les piscicultures (D-027), qui date de 1984, ne semble pas bien adaptée pour prévenir les problèmes reliés au rejet en nutriments dans l'environnement. Dans cette directive, le point le plus important relatif aux rejets consiste en la mise en place d'un étang de sédimentation avec un temps de rétention de 2 heures et une profondeur minimale de 1,5 m. Le traitement par sédimentation ne semble pas suffisant pour améliorer la qualité des rejets, pour le phosphore en particulier. C'est dans cette optique que le MENV prépare une nouvelle directive sur les exigences environnementales quant au rejet de nutriments des piscicultures et utilise en attendant l'approche de protection du milieu aquatique

basée sur les objectifs environnementaux de rejet (OER) (Ouellet, 1999). Le calcul des OER est basé sur un bilan établi de façon à ce que la charge déjà existante en amont du rejet, additionnée de la charge du rejet, respecte la charge maximale admissible à la limite de la zone de mélange établie par les critères de qualité de l'eau (tableau 2.1).

Les exigences environnementales s'adressent aux nouvelles piscicultures et aux piscicultures existantes qui ont l'intention de modifier leurs installations. Les piscicultures déjà existantes qui n'accroissent pas leur production ne sont pas visées par ces exigences. Il n'est toutefois pas assuré que ces mêmes piscicultures arriveront à survivre à la stagnation étant donné que la plus grande partie de la truite consommée au Québec est importée et que, à l'échelle mondiale, ce secteur est en plein développement. L'attitude du MENV et les orientations actuellement sur la table inquiètent plusieurs pisciculteurs face à l'avenir de leur secteur de production.

2.4 Technique de traitement proposée

Puisque les concentrations en phosphore sont faibles dans les effluents de pisciculture, les techniques habituelles de traitement des effluents industriels et municipaux sont difficilement applicables. Seule l'utilisation de techniques relativement coûteuses, comme la précipitation chimique avancée ou l'osmose inverse, permettrait de rencontrer les objectifs de rejets. Des techniques alternatives doivent donc être envisagées. Dans ce contexte, l'utilisation de marais artificiels est proposée afin de diminuer les concentrations en phosphore des effluents puisque c'est une technique de traitement qui s'est avérée, dans des études antérieures, efficace et peu coûteuse. Afin d'optimiser les coûts associés à la construction de marais artificiels, les matériaux utilisés devront être peu coûteux, localement disponibles et avoir une capacité de rétention des phosphates aussi élevée que possible (Drizo, 1998; Drizo *et al.*, 1999).

Le traitement de la totalité de l'effluent d'une pisciculture moyenne ($Q = 10\ 000\ m^3/d$) nécessiterait un volume de 125 000 m^3 de matériau granulaire en considérant une

porosité du matériau de 0,45 et en respectant le temps de contact de 5 jours suggéré par Vymazal *et al.* (1998). Ce temps de contact a été établi pour une eau usée relativement chargée et un temps de rétention probablement plus faible serait suffisant pour le traitement d'un effluent piscicole. Même si un temps de rétention plus court est utilisé, par exemple un jour, les volumes de matériaux nécessaires au traitement de tout l'effluent piscicole restent très élevés (25 000 m^3). De plus, le traitement de tout l'effluent imposerait des charges hydrauliques trop élevées à l'entrée des lits et ainsi favoriserait l'écoulement en surface et la formation de chemins préférentiels.

Étant donné que le traitement de l'effluent piscicole total semble peu envisageable, le traitement des boues récupérées de différentes façons (figure 2.1) pourrait être une option considérant qu'environ 60 à 80% du phosphore est excrété par le poisson sous forme particulaire (Ackefors and Enell, 1994).

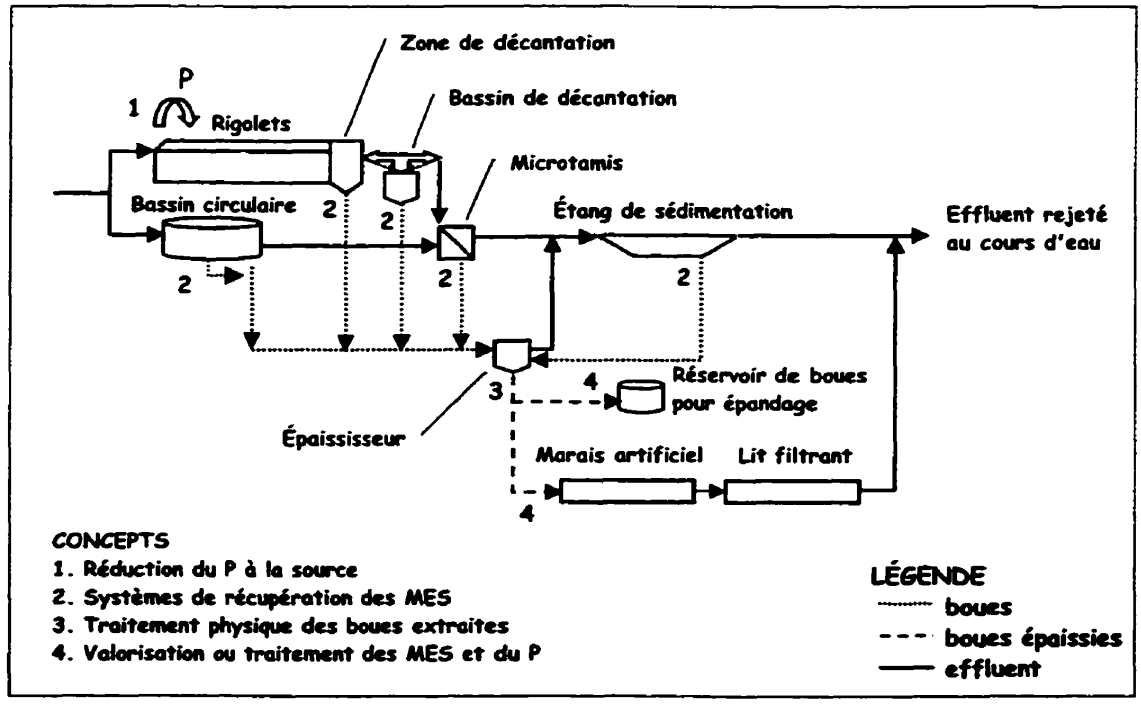


Figure 2.1 : Gestion des boues (adapté de Comeau *et al.*, 2000)

CHAPITRE 3
REVUE DE LITTÉRATURE

3.1 Marais artificiels et lits filtrants

Les marais naturels sont utilisés pour le traitement des eaux usées depuis plusieurs siècles (Brix, 1993; Vymazal *et al.*, 1998). Bien que les observations montrent une amélioration significative de la qualité des eaux usées due à l'utilisation de marais naturels comme système de traitement, la performance de ces systèmes reste peu connue (Brix, 1993; Vymazal *et al.*, 1998). Les marais naturels sont en effet caractérisés par une grande variabilité de leurs paramètres et il est très difficile de prédire la performance d'un tel système et de comparer les résultats obtenus pour différentes régions géographiques (Brix, 1993). Les marais naturels sont encore utilisés de nos jours pour le traitement des eaux usées (Kadlec and Knight, 1996; Chan *et al.*, 1982), mais l'utilisation de marais artificiels et de lits filtrants devient de plus en plus populaire (Hammer, 1989; Cooper and Findlater, 1990; Bavor and Mitchell, 1994).

Les marais artificiels et les lits filtrants sont conçus de façon à bénéficier des processus retrouvés dans les marais naturels tout en permettant un meilleur contrôle des paramètres du système de traitement. Bien que les bénéfices associés à l'utilisation des marais artificiels soient reconnus, les connaissances reliées à l'opération du système à long terme sont limitées (Tchobanoglous, 1993). Après avoir établi une meilleure compréhension des divers paramètres de conception et de leurs effets à court et à long terme, les marais artificiels ainsi que les lits filtrants pourront devenir une méthode de traitement des eaux usées plus conventionnelle, surtout pour des installations de débit faible ou modéré.

3.1.1 Définition

Les marais artificiels sont des milieux terrestres qui ont été modifiés afin de créer un environnement peu drainé, une flore et une faune servant à la décontamination des eaux

usées. Le contaminant visé dans cette étude est le phosphore total étant donné que cet élément limite l'eutrophisation des eaux douces et qu'il semble être la plus grande préoccupation du MENV. Dans les marais artificiels, le phosphore est enlevé par une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques, tels la sédimentation, la précipitation, l'adsorption au substrat, l'absorption par les plantes et les transformations microbiennes (figure 3.1). Les lits filtrants ont aussi pour objectif la décontamination des eaux, mais uniquement à l'aide d'un matériau granulaire réactif où le phosphore est enlevé principalement par des mécanismes d'adsorption et de précipitation.

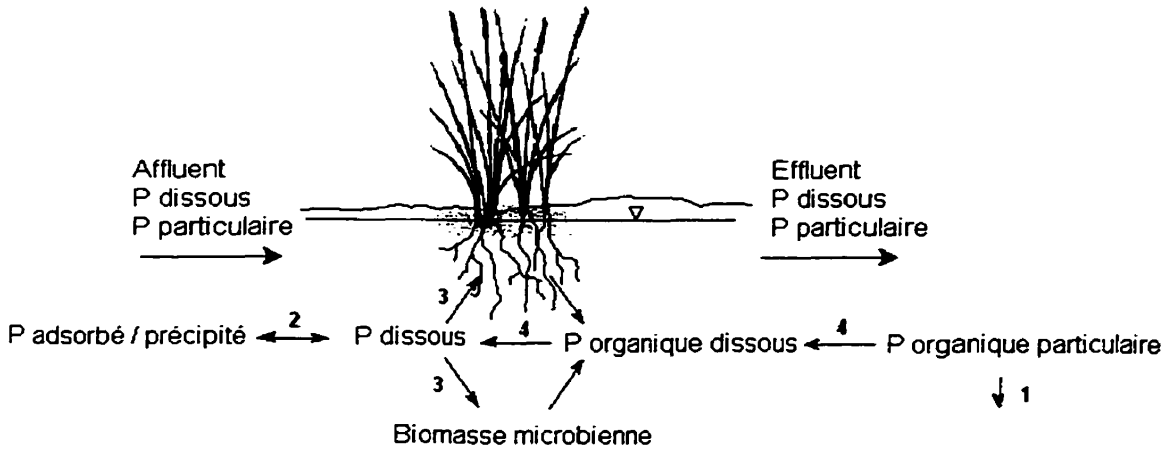


Figure 3.1 Mécanismes d'enlèvement du phosphore, 1. sédimentation; 2. adsorption - désorption / précipitation - dissolution; 3. absorption; 4. minéralisation (adapté de Reddy and D'Angelo, 1997)

L'utilisation de marais artificiels et de lits filtrants, plutôt que tout autre système conventionnel de traitement des eaux, comporte plusieurs avantages : engendre de faibles coûts de construction et d'entretien, nécessite peu d'énergie, peut être entretenu par des personnes inexpérimentées et est plus flexible que les systèmes conventionnels (Brix, 1993; Drizo, 1998). Les principaux désavantages reliés à l'utilisation de marais artificiels sont le besoin d'une grande surface comparativement aux systèmes conventionnels et la possibilité d'une baisse de performance durant l'hiver pour les régions froides et tempérées (Brix, 1993).

3.1.2 Types de marais artificiels

Les marais artificiels conçus pour le traitement des eaux usées sont généralement classés selon le type de plantes utilisé dans le système et selon le type d'écoulement (Brix, 1993; Kadlec and Knight, 1996; Drizo, 1998).

A) Système avec plantes flottantes

Le système est régi par un écoulement en surface et le type de végétation utilisé est la plante flottante qui absorbe le phosphore par ses racines et ses tissus (figure 3.2). Les plantes flottantes sont très diversifiées, mais les deux types de plantes les plus utilisés sont les jacinthes d'eau et les lentilles d'eau (Kadlec and Knight, 1996). L'utilisation de plantes flottantes dans les marais artificiels autres que ces deux types de plantes est plutôt rare et mal documentée (Vymazal *et al.*, 1998).

La jacinthe d'eau est une des plantes les plus prolifiques et productives au monde et c'est pourquoi elle est exploitée pour le traitement des eaux usées (Brix, 1993). Le principal désavantage d'utiliser ces plantes est que leur taux de croissance est fortement réduit à des températures sous 10°C. Ces plantes sont donc utilisées uniquement pour des régions tropicales et subtropicales (Vymazal *et al.*, 1998).

Contrairement aux jacinthes d'eau, les lentilles d'eau peuvent être utilisées dans des régions tempérées et sont capables de croître à des températures aussi faibles que 1 à 3°C. Elles sont parmi les plantes qui croissent le plus rapidement au monde, pouvant doubler leur biomasse en 2 ou 3 jours sous des conditions optimales. L'utilisation des lentilles d'eau dans les systèmes à plantes flottantes n'est toutefois pas aussi bien développée que celle des jacinthes d'eau pour le traitement des eaux usées (Vymazal *et al.*, 1998).

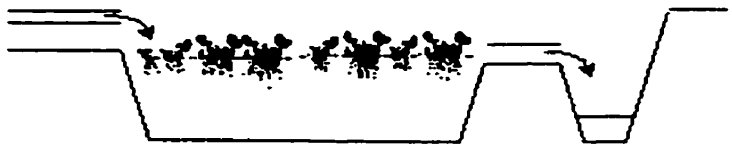


Figure 3.2 : Système avec plantes flottantes (adapté de Brix, 1993)

B) Système avec plantes submergées

Dans ce système, les plantes sont complètement submergées et l'écoulement se fait en surface (figure 3.3). Les nutriments sont principalement absorbés par les racines des plantes, mais aussi directement par les tissus. Ces plantes croissent dans un milieu oxygéné et une application excessive de matière organique dans le système pourrait créer des conditions anoxies dues à l'activité bactérienne (Brix, 1993; Gumbricht, 1993; Vymazal *et al.*, 1998). La performance d'un tel système est fonction du taux d'application de matière organique et il est donc suggéré de l'utiliser pour le traitement des eaux usées secondaires (Brix, 1993).

Figure 3.3 : Système avec plantes submergées (adapté de Brix, 1993)

C) Système avec plantes émergentes

Trois types d'écoulement sont définis dans les systèmes avec plantes émergentes, soit écoulement en surface, horizontal souterrain et vertical souterrain (figure 3.4). Les systèmes avec écoulement en surface sont recouverts d'espèces de plantes variées et possèdent généralement une couche d'eau de moins de 0,4 m (Kadlec and Knight, 1996). La croissance microbienne est favorisée par cette couche d'eau qui submerge

une partie des tiges et des détritus (Brix, 1993). Les contaminants sont appliqués au système sous les formes dissoute et particulaire. Les particules sédimentent dans le système et s'y retrouvent emprisonnées dû à la faible vitesse d'écoulement (Vymazal *et al.*, 1998). Les composants des particules sont hydrolysés pour être assimilés, tout comme les contaminants déjà sous la forme dissoute, par les racines des plantes, le substrat et les bactéries.

Les systèmes avec écoulement horizontal souterrain utilisent un matériau granulaire comme substrat pour la croissance des racines des plantes. Le niveau d'eau est tout juste sous la surface. L'écoulement de l'eau usée se fait plus ou moins horizontalement à travers le lit et les contaminants entrent alors en contact avec les particules du substrat, les racines des plantes et les bactéries attachées à ces dernières (Kadlec and Knight, 1996). Durant son temps de séjour dans le système, l'eau usée entre en contact avec des zones aérobies et anaérobies. L'apport d'oxygène se fait soit par diffusion à travers le lit soit par les racines des plantes. Plusieurs études ont toutefois démontré que l'apport d'oxygène n'est pas suffisant pour assurer la dégradation aérobie de la matière organique et que la dégradation anaérobie joue donc un rôle important dans le traitement des eaux usées par un marais artificiel à écoulement horizontal souterrain (Vymazal *et al.*, 1998).

Dans les systèmes avec écoulement vertical souterrain, les mécanismes d'enlèvement des contaminants sont censés être les mêmes que pour le système avec écoulement horizontal souterrain. La plus grande différence entre les systèmes est au niveau de la conception de l'ouvrage (Vymazal *et al.*, 1998). Par exemple, le système avec écoulement vertical souterrain est généralement muni d'un système de distribution sur toute la surface afin de favoriser un écoulement vertical uniforme. De plus, un système avec un écoulement vertical et une alimentation intermittente favorise l'oxygénation du substrat comparativement au système avec écoulement horizontal (Brix, 1993).

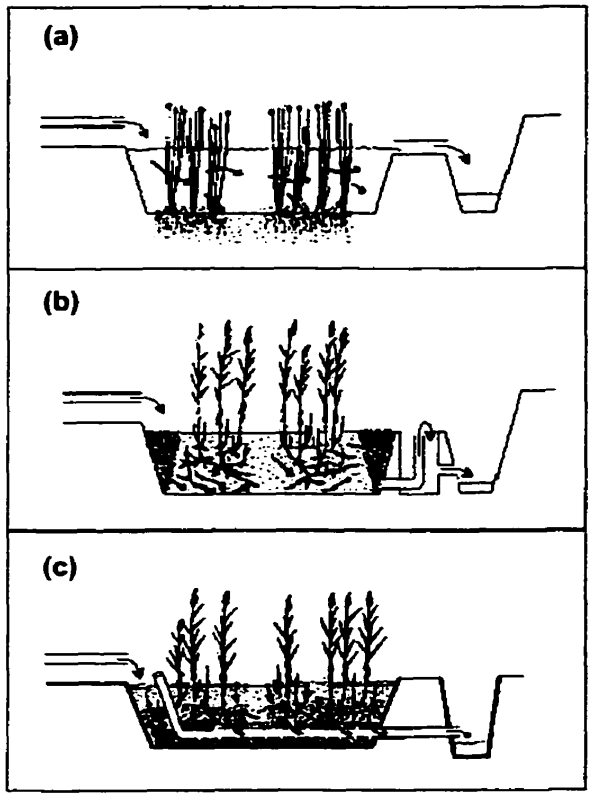


Figure 3.4 : Système avec plantes émergentes (adapté de Brix, 1993). (a) système avec écoulement en surface, (b) système avec écoulement horizontal souterrain et (c) système avec écoulement vertical souterrain.

Les systèmes hybrides ont aussi été recommandés pour le traitement des eaux usées afin d'optimiser l'enlèvement de plusieurs contaminants (Brix, 1993; Drizo, 1998). Le traitement s'effectue alors en deux étapes : l'enlèvement de la matière organique, des matières en suspension et de l'azote dans un marais artificiel suivi de l'enlèvement de contaminants, par exemple le phosphore, à l'aide d'un lit filtrant composé d'un matériau granulaire réactif.

3.1.3 Types de lits filtrants pour l'enlèvement du P

Les lits filtrants sont composés d'un matériau granulaire réactif permettant l'enlèvement de contaminants principalement par des mécanismes d'adsorption et de précipitation.

Plusieurs matériaux sont présentement étudiés un peu partout à travers le monde afin d'évaluer leur potentiel d'enlèvement de divers contaminants présents dans les eaux usées (Blowes *et al.*, 1995). Le mélange d'oxydes et hydroxydes de fer avec du calcaire et de la silice a été recommandé pour l'enlèvement du phosphore (Baker *et al.*, 1997).

Blowes *et al.* (1995) présentent trois types d'application potentielle à l'utilisation d'un matériau granulaire réactif pour l'enlèvement du phosphore: un lit à écoulement vertical suivant une zone d'infiltration utilisée dans les systèmes de traitement des eaux usées conventionnels, un lit à écoulement horizontal pour le traitement d'un effluent secondaire et une barrière perméable installée en aval d'une eau souterraine contaminée (figure 3.5).

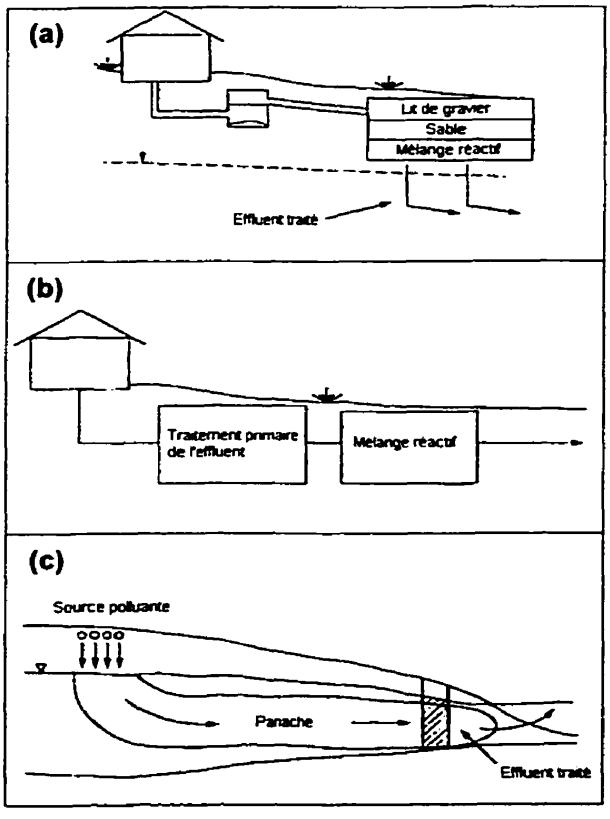


Figure 3.5 : Applications d'un matériau granulaire réactif (adapté de Blowes *et al.*, 1995). (a) lit à écoulement vertical suivant une zone d'infiltration, (b) lit à écoulement horizontal et (c) barrière perméable.

Un lit filtrant à écoulement horizontal est probablement le système le mieux adapté pour traiter un effluent piscicole secondaire puisque le système favorise le contact du phosphore soluble avec les particules.

3.1.4 Hydrogéologie

La masse de contaminant présente dans l'eau sous forme d'ions ou de particules solides subit les phénomènes de transport et de réactions chimiques. Le transport de la masse est régi par les processus d'advection et de dispersion alors que les réactions chimiques redistribuent la masse entre les phases solide, liquide et gazeuse afin d'atteindre un certain équilibre (Domenico and Schwartz, 1998).

A) Advection

L'advection consiste simplement au transport du contaminant par l'écoulement de l'eau dans laquelle il est dissous. La direction et la vitesse du contaminant correspondent donc à celles de l'eau souterraine (Domenico and Schwartz, 1998). Dans le cas où l'advection est plus importante que la dispersion, le transport du contaminant dans le marais artificiel à écoulement souterrain est régi par la loi de Darcy :

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot h}{n_e \cdot L} \qquad \text{(éq. 3.1)}$$

B) Dispersion

La dispersion transporte le contaminant au-delà de la zone qu'il devrait normalement occuper dû au phénomène d'advection (Domenico and Schwartz, 1998). Le phénomène de dispersion peut être observé à l'aide d'un essai en colonne où les courbes C/C_o vs t de l'affluent et de l'effluent n'ont pas la même forme (figure 3.6). Une partie de la masse sort de la colonne avant le front d'advection, qui correspond à $C/C_o = 0.5$, et une autre sort de la colonne après le front d'advection. En l'absence de dispersion, les deux courbes seraient identiques. Les essais en colonnes montrent le phénomène de dispersion dans une seule direction alors que ce dernier est tridimensionnel (dispersions longitudinale, transversale et verticale).

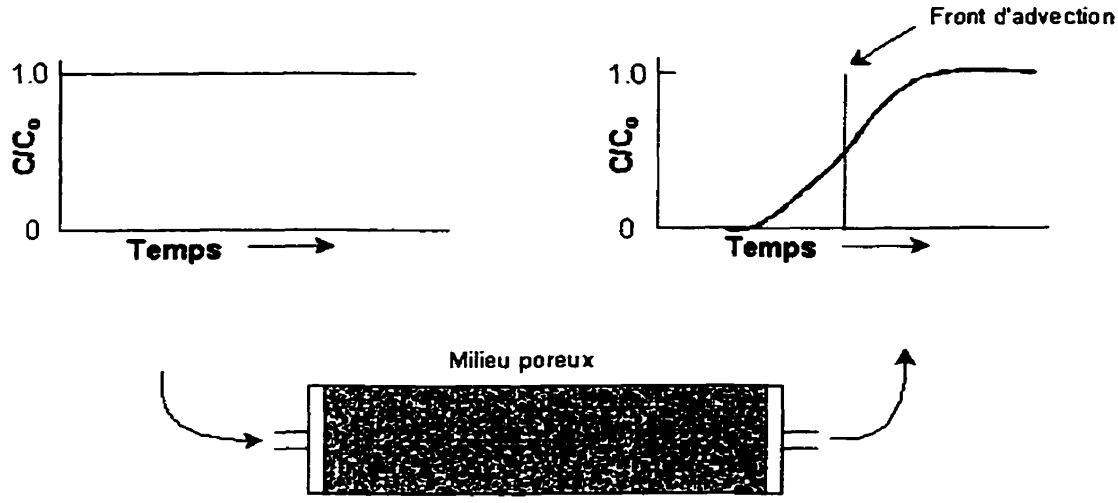


Figure 3.6 : Effet de dispersion dans une colonne (adapté de Domenico and Schwartz, 1998)

La dispersion dans un milieu poreux est le résultat de deux phénomènes : la **dispersion mécanique** et la **diffusion**. La dispersion mécanique est un processus physique résultant des variations locales de vitesse d'écoulement. La variabilité dans la direction et la vitesse de transport est causée par les irrégularités dans le milieu poreux, telle l'irrégularité de la conductivité hydraulique.

La diffusion de la masse est proportionnelle au gradient de concentration, tel qu'exprimé par la loi de Fick :

$$J = -D_d' \cdot \mathrm{grad}(C) \qquad \text{(éq. 3.2)}$$

C) Mécanismes de retardement

En plus de subir les mécanismes de transport (advection et dispersion), la migration des contaminants est contrôlée par des mécanismes de retardement. Il existe deux types de mécanismes de retardement: la sorption et la dégradation biologique ou radioactive. Ces réactions chimiques retardent la migration des contaminants en réduisant la masse du contaminant présente en solution.

La sorption est un processus où les contaminants sont immobilisés à la surface des particules solides par des mécanismes d'adsorption et de précipitation. Certains contaminants subissent une dégradation biologique ou radioactive et leur perte de masse peut être représentée en fonction du temps. Le taux de dégradation radioactive est défini par la demi-vie de l'espèce, mais le taux de dégradation biologique dépend de plusieurs facteurs (présence de bactéries appropriées, température, etc.) et est donc difficilement prévisible.

3.2 Mécanismes d'enlèvement du phosphore par le matériau granulaire

La sorption par le matériau granulaire semble être le mécanisme d'enlèvement du phosphore le plus important dans les marais artificiels (Mann, 1990; Wood, 1990; Johansson, 2000; Brix *et al.*, 2000). Les différents mécanismes expliqués dans cette section représentent donc l'ensemble des processus les plus simples impliqués dans l'enlèvement du phosphore dissous par un matériau granulaire réactif. Lorsqu'il est difficile de distinguer les mécanismes d'adsorption physique, d'adsorption chimique et de précipitation, le terme sorption est utilisé dans la littérature pour représenter le transfert général des ions vers la surface des particules (Sposito, 1989; Yong, 1992).

3.2.1 Adsorption

Différents mécanismes sont impliqués dans l'adsorption d'ions. Ces mécanismes sont généralement définis dans la littérature comme étant de l'adsorption physique, chimique, spécifique et non spécifique selon le type de forces agissant entre les ions et la surface des particules (Parks, 1967; White, 1986; Johansson, 1998). Étant donné la complexité des systèmes solide-liquide, il est parfois difficile d'associer un mécanisme à un phénomène purement physique ou chimique et c'est pourquoi il existe une certaine incohérence dans la littérature quant à la terminologie. La plupart des auteurs s'entendent toutefois pour dire que l'échange de ligands ainsi que l'échange ionique sont les deux mécanismes les plus importants dans l'adsorption des phosphates (Sposito, 1989; Johansson, 1998)

A) Échange de ligands

Plusieurs solides ont des groupes fonctionnels ionisables à leur surface. La charge de ces particules devient dépendante de leur degré d'ionisation et conséquemment du pH du milieu. La plupart des oxydes et des hydroxydes adoptent aussi un tel comportement et leur charge est fortement dépendante du pH du milieu. En milieu aqueux, des groupes hydroxydes se forment à la surface des oxydes et ces groupes OH^- ont tendance à accepter des H^+ en milieu acide et ainsi former des molécules d'eau (H_2O). Les ligands sont ces groupes OH^- ou H_2O unis à l'atome central d'un complexe par une liaison de coordination.

L'échange de ligands consiste en un remplacement d'un groupe OH^- ou H_2O par un anion comme le phosphate formant ainsi une molécule plus stable (éq. 3.3 et éq. 3.4). Cette réaction est généralement connue sous le nom d'adsorption chimique spécifique et implique des liens chimiques de type covalent, ionique ou une combinaison des deux (Stumm and Morgan, 1981; Beek, 1982; White, 1986; Johansson, 1998).

$$Me\text{-}(OH)_2 + HPO_4^{2-} \rightarrow Me\text{-}HPO_4 + 2OH^- \qquad \text{(éq. 3.3)}$$

$$Me\text{-}(OH_2^+)_2 + HPO_4^{2-} \rightarrow Me\text{-}HPO_4 + 2H_2O \qquad \text{(éq. 3.4)}$$

Le lien entre le groupe H_2O et l'atome métallique est plus facile à briser que celui existant entre le groupe OH^- et l'atome métallique (Johansson, 1998).

B) Échange ionique

L'échange ionique est le résultat des forces électrostatiques agissant entre les ions en solution et la surface des particules. La plupart des auteurs reconnaissent cette réaction comme de l'adsorption non spécifique, mais il semble y avoir un certain désaccord quant à savoir s'il s'agit d'adsorption physique ou chimique.

La surface d'un solide peut être chargée principalement de deux façons, soit par des substitutions isomorphiques soit par des réactions de groupes fonctionnels ionisables avec des ions en solution (Sposito, 1989). Les substitutions isomorphiques engendrent généralement des charges négatives à la surface des solides. Par exemple, si un atome Si est remplacé par un atome Al dans une série de tétraèdres SiO_2, une charge négative apparaît à la surface du solide. La surface plane des argiles est souvent chargée négativement à cause de ces substitutions isomorphiques.

La plupart des oxydes et hydroxydes possèdent des groupes fonctionnels ionisables et la charge de ces complexes est dépendante du pH du milieu. À un pH faible, la surface est chargée positivement alors qu'à un pH élevé, la surface est chargée négativement (Stumm and Morgan, 1981). Le pH_{zpc} (pH "zero point charge") est le pH pour lequel la surface ne possède aucune charge nette. Plus le pH_{zpc} est élevé pour un complexe et plus la surface sera chargée positivement dans des eaux normales ($6 < pH < 8$).

L'échange d'anions, tels les phosphates, s'effectue en présence d'une surface chargée positivement. Les matériaux possédant des groupes ionisables et dont le pH_{zpc} est élevé, tels les oxydes et hydroxydes, sont donc intéressant pour l'enlèvement du phosphore dissous.

C) Modèles de distribution des ions à l'interface solide-liquide

Certains auteurs préfèrent présenter les mécanismes impliqués dans l'adsorption à l'aide de modèles de distribution des ions à l'interface solide – liquide. La distribution de charges est souvent idéalisée comme une double couche électrochimique où une des couches est supposée fixée à la surface alors que l'autre est distribuée de façon plus ou moins diffuse dans le liquide (Stumm and Morgan, 1981).

Plusieurs modèles de cette double couche électrochimique ont été développés. Le modèle d'Helmholtz est le modèle le plus simple où le système consiste en deux couches chargées, une sur la surface et l'autre dans la solution (figure 3.7 a). Le modèle de

Gouy-Chapman présente une distribution des ions en équilibre entre les forces électrostatiques et les forces thermiques (figure 3.7 b). Stern a divisé la zone près de la surface en deux parties, soit une couche d'ions adsorbés à la surface formant la couche de Stern et une couche diffuse formant la couche Gouy (figure 3.7 c). La charge de la couche de Stern peut être plus élevée que celle de la surface à cause des interactions spécifiques tel l'échange de ligands (figure 3.7 d). Dans ce dernier cas, la couche diffuse (couche Gouy) est composée de charges opposées à celle de Stern puisque l'ensemble du système doit être neutre.

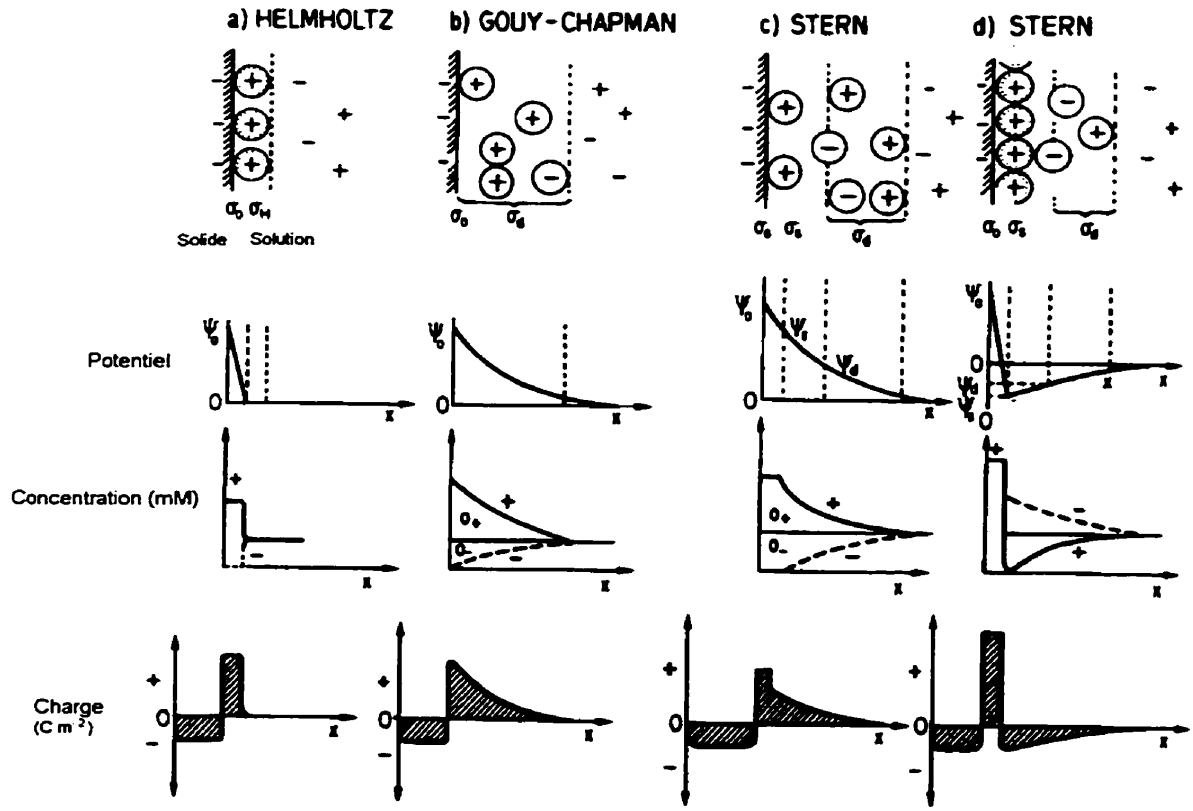


Figure 3.7 : Modèles de distribution des ions à l'interface solide - liquide (adapté de Stumm and Morgan, 1981)

3.2.2 Précipitation

Les réactions de précipitation ont lieu à des teneurs relativement élevées en phosphates. Pour de faibles concentrations en phosphates et pour des courts temps de réaction, l'enlèvement des phosphates est souvent limité à l'adsorption (Beek, 1982). La formation de minéraux phosphates est étroitement liée au pH du milieu (Johansson, 1998). Dans les milieux acides, la précipitation des phosphates est favorisée par la présence d'ions Al et Fe. Lorsque le pH augmente, la proportion de phosphates d'aluminium et de fer diminue et celle de phosphates de calcium augmente (figure 3.8).

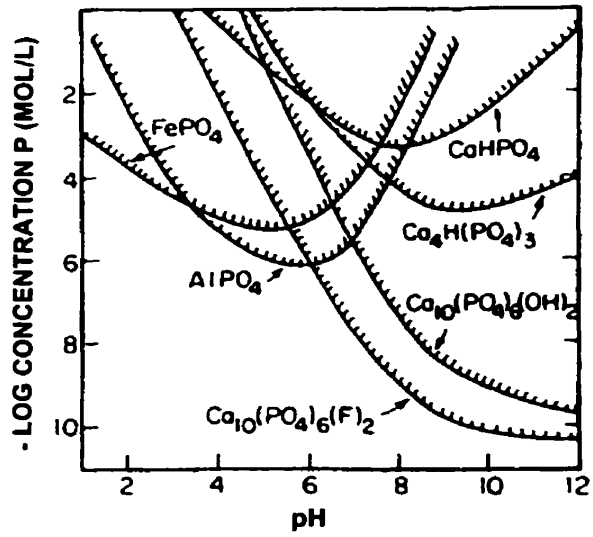


Figure 3.8 : Solubilités des phosphates de fer, aluminium et calcium. $FePO_4$: strengite, $AlPO_4$: variscite, $CaHPO_4$: dicalcium de phosphate, $Ca_4H(PO_4)_3$: octocalcium de phosphate, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$: hydroxylapatite et $Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$: fluoroapatite (adapté de Stumm and Morgan, 1981)

A) Milieux acides

Dans les milieux acides, la précipitation des phosphates se fait principalement par l'aluminium et le fer (Johansson, 1998). Les composés précipitent d'abord sous forme amorphe et se transforment graduellement en solides de forme cristalline. Lorsque les pH sont trop élevés pour que les composés $AlPO_4$ et $FePO_4$ précipitent, l'adsorption des phosphates sur les hydroxydes d'aluminium et de fer est alors favorisée.

L'aluminium, qui peut provenir des matériaux filtrants, interagit avec l'eau pour former des hydroxydes d'aluminium ($Al(OH)_3$) et avec les orthophosphates pour former de la variscite ($AlPO_4$) (éq. 3.5). Lorsque la précipitation de la variscite est favorisée, les concentrations totales en aluminium ($C_{T,\,Al}$) et en phosphates ($C_{T,\,PO4}$) sont contrôlées par la solubilité de ce précipité. En assumant que $C_{T,\,Al} = C_{T,\,PO4}$ (selon l'équation 3.5) et que la solution est saturée ou sursaturée, il est possible de déterminer le champ stable du $AlPO_4$ en fonction du pH (diagramme de solubilité, figure 3.9). Lorsque l'aluminium est précipité par les hydroxydes, la concentration totale en aluminium ($C_{T,\,Al}$) est alors contrôlée par la solubilité de la gibbsite ($Al(OH)_3$).

$$\begin{aligned} Al^{3+} + 3H_2O &\leftrightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+ \\ Al^{3+} + PO_4^{3-} &\leftrightarrow AlPO_{4(s)} \end{aligned} \qquad \text{(éq. 3.5)}$$

Selon le diagramme de solubilité (figure 3.9), la concentration en PO_4 est minimale pour des pH situés entre 5 et 6 puisque le phosphore est précipité par l'aluminium pour former du $AlPO_4$. À des pH supérieurs à environ 6,4, la concentration de phosphates en solution augmente puisque l'aluminium ne précipite plus avec ces derniers, mais plutôt avec les OH^- pour former des hydroxydes d'aluminium ($Al(OH)_3$).

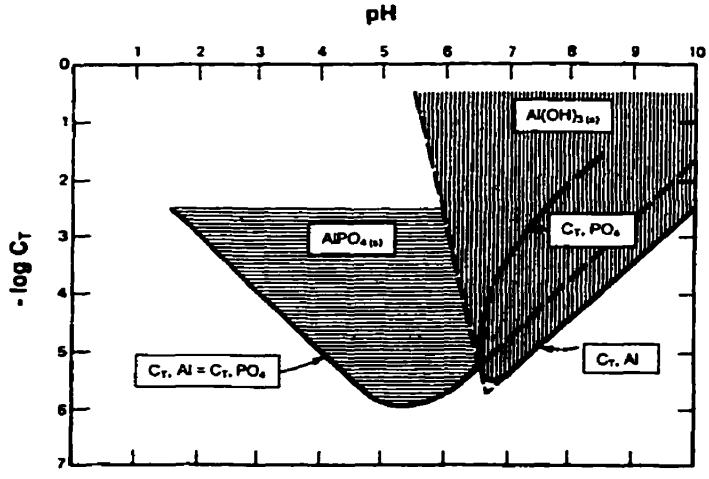


Figure 3.9 : Solubilité de la variscite ($AlPO_4$) et de la gibbsite ($Al(OH)_3$) (adapté de Snoeyink and Jenkins, 1980)

Le fer interagit avec l'eau pour former des hydroxydes de fer ($Fe(OH)_3$) et avec les orthophosphates pour former de la strengite ($FePO_4$) en milieu oxydant (éq. 3.6). La précipitation des phosphates par le fer est envisageable à un pH situé entre 5 et 7. À un pH supérieur à 7, la précipitation des hydroxydes de fer est privilégiée par rapport à celle de la strengite et la concentration en fer est contrôlée par la solubilité de $Fe(OH)_{3\,(s)}$.

$$\begin{aligned} Fe^{3+} + 3H_2O &\leftrightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 3H^+ \\ Fe^{3+} + PO_4^{3-} &\leftrightarrow FePO_{4(s)} \end{aligned} \qquad \text{(éq. 3.6)}$$

B) Milieux alcalins

Dans les milieux basiques, la précipitation des phosphates est plutôt favorisée par la présence des ions calcium. Les principaux composés mentionnés dans la littérature sont: le dicalcium de phosphate ($CaHPO_4$), le tricalcium de phosphate ($Ca_3(PO_4)_2$), l'octocalcium de phosphate ($Ca_4H(PO_4)_3$ et l'hydroxylapatite ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) (Stumm and Morgan, 1981; Johansson, 1998; House, 1999). Plusieurs autres minéraux composés de calcium et de phosphates existent, mais ces formes ne contribuent pas significativement à l'enlèvement du phosphore dissous des eaux usées (Beek, 1982).

La séquence avec laquelle les précipités se forment n'est pas très bien définie dans la littérature, mais il semble que les phosphates soient tout d'abord précipités par le calcium sous forme amorphe et qu'ensuite ces composés soient transformés en phase cristalline (figure 2.10). La précipitation du phosphate de calcium à partir d'une solution sursaturée se fait généralement en trois étapes : 1) formation de noyaux et précipitation de la phase amorphe, 2) transformation de la phase amorphe en phase cristalline et 3) croissance des cristaux (Stumm and Morgan, 1981).

Il existe une période de latence nécessaire à la formation de noyaux homogènes, c'est-à-dire des noyaux formés de molécules ou d'ions de même nature que le précipité (figure 3.10). Les noyaux peuvent aussi être de fines particules de nature chimique différente de celle du précipité, mais ayant une structure cristalline semblable à ce dernier. Les

noyaux sont alors nommés noyaux hétérogènes et leur formation demande moins d'énergie que celle des noyaux homogènes. Il est donc possible qu'une solution légèrement sursaturée reste stable et qu'aucune précipitation n'ait lieu. Lorsque le degré de sursaturation est augmenté ou que de fines particules de structure semblable à celle du précipité y sont ajoutées, la précipitation débute. L'ajout d'un noyau de phosphate de calcium sous forme cristalline à une solution sursaturée en hydroxylapatite élimine la période de latence. Après la formation de noyaux, la précipitation sous forme amorphe débute.

Le précipité amorphe est ensuite transformé en structure cristalline. Au cours de la transformation, la solubilité des phosphates diminue, ce qui rend l'hydroxylapatite et la fluoroapatite des composés très stables (figure 3.8). Lorsque le composé de phosphates de calcium le plus stable est formé, la concentration en phosphates est fonction du taux de croissance des cristaux de ce composé. Le taux de croissance des cristaux peut être présenté selon l'équation (3.7) une fois la période de latence terminée.

$$\frac{dC}{dt} = -k_c S(C - C_e)^n \qquad \text{(éq. 3.7)}$$

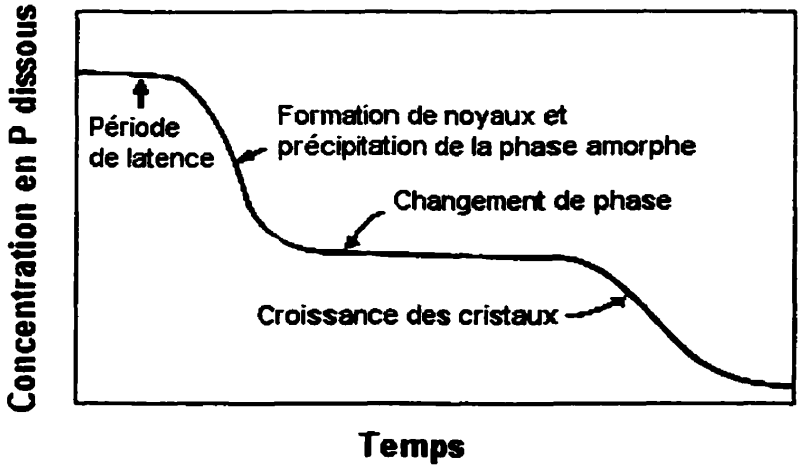


Figure 3.10 : Cinétique de la précipitation des phosphates de calcium (adapté de Snoeyink and Jenkins, 1980)

3.3 Évaluation du potentiel d'adsorption des substrats

3.3.1 Essais d'adsorption en flacons

A) Méthodologie

Les essais d'adsorption en flacon sont utilisés depuis plusieurs décennies pour déterminer la relation qui existe entre la concentration en phosphore de la solution et la capacité d'adsorption des sols à des fins de caractérisation agronomique (Olsen and Watanabe, 1957; Barrow, 1978). Nair *et al.* (1984) ont proposé une méthodologie pour ces essais après avoir comparé les résultats des analyses effectuées dans plusieurs laboratoires avec un nombre important de réplicata. La méthodologie consiste à mettre en contact 0.5 g à 1.0 g de sol avec une solution électrolyte ($CaCl_2$ 0,01 mol/L) où différentes concentrations de phosphore sont ajoutées. Le ratio matériau : solution doit être de 1:25 et le temps d'agitation, de 24 heures.

Plusieurs auteurs ont ensuite utilisé cette méthodologie ou une version modifiée de celle-ci afin d'évaluer le potentiel d'adsorption du phosphore de divers matériaux qui pourraient être utilisés pour le traitement des eaux usées (Mann, 1997; Zhu *et al.*, 1997; Drizo, 1998; Johansson, 1998, Brix *et al.*, 2000). Les résultats des différents auteurs sont toutefois difficilement comparables étant donné que les conditions expérimentales varient d'un essai à l'autre. On retrouve donc dans la littérature des valeurs qui sont très différentes pour des matériaux de composition semblable (tableau 3.1). Il serait donc important d'établir une méthodologie standard pour l'évaluation du potentiel d'adsorption du phosphore des matériaux éventuellement utilisés comme substrat dans les marais artificiels.

Tableau 3.1 : Essais d'adsorption de P en flacons

Matériaux	Résultats[1]	Méthode	Références
Scories d'acier	M = 0,03	5 g de matériau dans 25 mL d'une solution P (1:5) Durée de l'essai : 2 h	Yamada, 1986
Hydroxydes de fer Tourbe Tourbe+ 3%, 6% hydr. de fer Sable + 3%, 6% hydr. de fer	M = 27,30 M = 0,30 M = 0,98 et 1,64 M = 0,77 et 1,43	1 à 5 g de matériau dans 60 mL Électrolyte : 0,05M KNO_3 [P] :0;5;12,4;24,8;37,2;49,6mg P/L Durée de l'essai : 4 jours	Bruce, 1992
Latérite (2 à 3,35 mm)	Enlèvement de P (24h): 60% (C_o= 50 mg P/L) et 80 à 90% (C_o= 5 et 10 mg P/L)	10 g de matériau dans 100 mL d'une solution de P Ratio matériau/solution de 1 :10 [P] : 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg P/L Durée de l'essai : 7 jours Vitesse d'agitation : 65 rpm	Wood *et al.*, 1996
Gravier Grès Blast furnace slag Scories d'acier Cendres volantes Bottom ash Charbon	M = 0,03 et 0,05 M = 0,17 M = 0,45 et 0,40 M = 0,38 M = 0,63 M = 0,06 M = 0,07	20 g de matériau dans 40 mL de solution de P Ratio matériau/solution de 1 :2 Électrolyte : 0,01M KCl [P] : 5, 10, 20 et 100 mg P/L Durée de l'essai : 30 h Vitesse d'agitation : 150 orm	Mann, 1997
UTELITE Chandler Lehigh Cement VA Arkansas Lightweight Corp. LECA FILTRALITE Sable I et II (riche en fer)	M = 3,46 M = 0,04 M = 2,91 M = 0,04 M = 0,05; 0,16; 0,57 M = 1,39; 0,21; 2,21 M = 0,44	8 g de matériau dans 200 mL de solution de P [P] : 0, 20, 40, 80, 160 et 320 mg P/L Durée de l'essai : 24 h	Zhu, 1997
Sols Scories d'acier BFS et SFS Zéolite	M = 0,93 à 5,21 M = 44,25 et 1,43 M = 2,15	3 g de matériau dans 30 mL de solution P (1:10) Électrolyte : 0,01 KCl [P] : différentes concentrations en P allant jusqu'à >> 200 mg P/L Durée de l'essai : 48 h Vitesse d'agitation : 100 rpm	Sakadevan *et al.*, 1998
Scories amorphes (0 à 4 mm) Scories cristallines(0 à 4 mm) Opoka Spodsol Limestone	≅ 0,4 et 0,2 mg P/g ≅ 1,0 et 0,7 mg P/g ≅ 0,1 mg P/g ≅ 1 mg P/g ≅ 0,25 mg P/g	1 g de matériau dans 50 mL de solution P Ratio matériau/solution de 1:50 [P] : 5, 10, 15, 20, 25 mg P/L Durée de l'essai: 20 h Vitesse d'agitation : 70 cpm	Johansson, 1998
Différents mélanges (50% sable de silice, 45% calcaire et 5% d'oxydes de métaux.	Les mélanges contenant des oxydes de fer, de calcium et d'alumine activée ont été les plus performants (99% d'enlèvement de P)	50 g de matériau dans 500 g de solution P Ratio matériau/solution de 1:10 [P] : 10 mg P/L Durée de l'essai: 10 h	Baker *et al.*, 1998
Bauxite Shale et Burnt oil shale Calcaire Zeolite LECA Cendres volantes	M = 0,61 M = 0,65 et M = 0,58 M = 0,68 M = 0,46 M = 0,42 M = 0,86	20 g de matériau Électrolyte: 0,01M $CaCl_2$ [P]: 2,5 à 40 mg P/L Durée de l'essai: 24 h Vitesse d'agitation: 60 rpm	Drizo, 1999
13 Danish sands LECA Crushed marble Diatomaceous earth Vermiculite Calcite	Les sables à concentration élevée en Ca ont été les plus performants. Pour les matériaux artificiels, la calcite et le marbre ont donné les meilleurs résultats	Environ 5 g de matériau (1 g pour a calcite) dans 100 mL de solution P Ratio matériau/solution de 1:20 [P]: 0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 160, 320 mgP/L Électrolyte : eau du robinet Durée de l'essai : 20 h	Brix *et al.*, 2000
Gravier Zeolite Scories Clinker	≅ 0,02 et ≅ 0,05 mg P/g ≅ 0,2 mg P/g ≅ 10 mg P/g ≅ 15 mg P/g	5 g de matériau dans 100 mL de solution P Ratio matériau/solution de 1:20 Électrolyte : 0,1M KCl [P] : 2, 4 et 8 mg P/L	Anderson *et al.*, 2000

[1]Le maximum d'adsorption (M) est déterminé selon l'équation de Langmuir et est exprimé en mg P/g de matériau.

Les principaux paramètres des essais d'adsorption en flacons sont : la quantité de matériau utilisé, le ratio matériau/solution, la nature et la concentration de l'électrolyte utilisé, le temps de contact, la vitesse d'agitation, la température de la solution et les concentrations de phosphore appliquées. La méthodologie proposée par Nair *et al.* (1984) vise l'étude du potentiel d'adsorption du phosphore par les sols et c'est pourquoi les auteurs ont recommandé d'utiliser seulement 0,5 à 1,0 g. Cette masse n'est pas suffisante pour représenter la granulométrie relativement grossière et la minéralogie des matériaux utilisés dans le traitement des eaux usées par marais artificiels ou lits filtrants. De faibles masses de matériau sont encore toutefois utilisées (Johansson, 1998; Sakadevan and Bavor, 1998).

L'effet du ratio matériau/solution n'est pas bien défini dans la littérature. Certains auteurs prétendent que l'adsorption du phosphore est favorisée par un ratio faible (Barrow *et al.*, 1965) alors que d'autres affirment le contraire (Hope and Syers, 1976). Il a aussi été mentionné que le ratio n'avait pas d'effet sur la capacité d'adsorption déterminé par les essais en flacons (Kurtz *et al*, 1946).

La nature et la concentration de l'électrolyte utilisé dans les essais d'adsorption influencent la capacité d'enlèvement du phosphore par les matériaux. Par exemple, l'adsorption des phosphates par le matériau est plus importante lorsque le chlorure de calcium est utilisé plutôt que le chlorure de sodium (Barrow *et al.*, 1980).

Les temps de contact utilisés sont généralement de l'ordre de 24 h étant donné que l'adsorption est un mécanisme relativement rapide, (Mann, 1997; Zhu *et al.*, 1997; Johansson, 1998; Drizo *et al.*, 1999). L'utilisation de temps de contact plus longs (de l'ordre de plusieurs jours) résulte en un enlèvement du phosphore plus élevé. L'enlèvement du phosphore par des processus plus lents que l'adsorption, par exemple la précipitation et la diffusion dans les grains, pourrait expliquer cet enlèvement plus élevé.

La vitesse d'agitation est un autre facteur qui influence la relation entre les phases adsorbée et soluble. Une vitesse d'agitation trop élevée engendre le bris des particules,

augmentant la surface spécifique, et favorise ainsi l'enlèvement du phosphore (Barrow, 1979; Drizo *et al.*, 2000). Une vitesse d'agitation trop faible ne permet pas un bon contact des particules avec la solution.

Les effets de la température n'ont pas fait l'objet de beaucoup d'études et c'est pourquoi il est difficile de prédire l'importance de ce paramètre. Les essais en laboratoire sont habituellement effectués à des températures ambiantes, soit entre 22 et 25°C. Il serait intéressant de comparer les résultats de ces mêmes essais effectués à des températures plus froides afin de vérifier l'influence de la température sur les mécanismes d'adsorption et de précipitation du phosphore.

Les concentrations en phosphore utilisées lors des essais sont généralement de l'ordre de celles des effluents à traiter. Des concentrations trop élevées peuvent surestimer la capacité réelle d'enlèvement du phosphore par les matériaux. Certains auteurs utilisent pourtant des concentrations très élevées par rapport à celles retrouvées dans les effluents à traiter (Zhu *et al.*, 1997; Sakadevan *et al.*, 1998; Brix *et al.*, 2000). Les concentrations aussi faibles que celles retrouvées dans les effluents piscicoles sont rarement testées puisque les marais artificiels ont été utilisés principalement pour le traitement des eaux usées municipales jusqu'à maintenant.

Une méthode standard a été développée pour les essais en flacons: *Standard Test Method for 24-h Batch-Type Measurement of Contaminant Sorption by Soils and Sediments* (ASTM, D4646-87, 1993). L'essai consiste à mélanger un matériau à une solution de concentration en phosphore connue durant 24 h afin de déterminer un coefficient R_d représentatif de l'enlèvement de phosphore. Cet essai permet de déterminer un coefficient d'enlèvement pour une concentration donnée, mais ne définit pas la capacité maximale d'enlèvement du matériau. Cette méthode est donc intéressante pour faire une présélection des matériaux les plus performants pour le traitement d'un effluent donné, mais n'est pas utile pour prédire la capacité d'enlèvement des matériaux à plus long terme. Si l'essai est répété pour plusieurs concentrations en phosphore, il est alors possible de produire une isotherme plutôt que de déterminer un coefficient R_d.

B) Isothermes d'adsorption

Les résultats obtenus des essais en flacons sont généralement interprétés à l'aide d'isothermes d'adsorption. Une isotherme d'adsorption décrit la relation d'équilibre entre la quantité adsorbée et les espèces dissoutes à une température donnée. Quatre types d'isothermes sont généralement observés dans l'étude des sols (figure 3.11). Le type S (en référence à la forme de la courbe) présente une pente initiale faible qui ensuite augmente avec la concentration. Ce comportement peut être expliqué par le fait que les molécules ont une plus grande affinité pour la solution que pour la surface. L'adsorption devient alors significative lorsque la solution est plus concentrée (Sposito, 1989). L'isotherme L (Langmuir) décrit une relation où les molécules ont une grande affinité pour la surface lorsque celle-ci est peu chargée et où le taux d'adsorption diminue au fur et à mesure que la quantité adsorbée augmente. L'isotherme H ("high affinity") est un cas extrême de l'isotherme de Langmuir où la pente initiale, presque verticale, suggère la présence d'adsorption chimique spécifique (Sposito, 1989). L'isotherme C ("constant partition") est caractérisée par une pente indépendante de la concentration en solution.

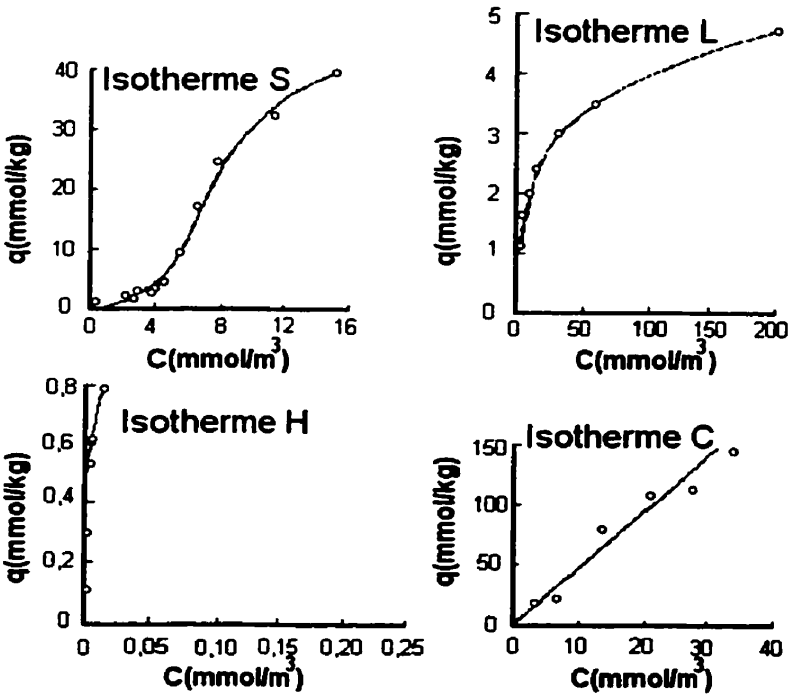


Figure 3.11 : Classification des isothermes d'adsorption (adapté de Sposito, 1989)

C) Modèles mathématiques

L'isotherme L est celle qui est le plus souvent observée dans l'étude des sols (Sposito, 1989). Les résultats des essais d'adsorption du phosphore par des matériaux éventuellement utilisés pour le traitement des eaux usées sont donc souvent modélisés avec l'équation de Langmuir (éq. 3.8). Cette équation a été développée pour représenter l'adsorption des gaz sur une surface uniforme en supposant que ces derniers forment un film monomoléculaire. L'utilisation de cette équation pour représenter l'adsorption dans les systèmes solide-liquide a ensuite été suggérée (Olsen et Watanabe, 1957).

$$\frac{x}{m} = \frac{k_L \cdot M \cdot C_e}{(1 + k_L \cdot C_e)} \qquad \text{(éq. 3.8)}$$

L'utilisation de ce modèle mathématique pour les systèmes solide-liquide a toutefois été largement critiquée. Par exemple, l'équation de Langmuir suppose que l'adsorption est effectuée sur une surface uniforme alors que l'adsorption des phosphates se fait sur des surfaces non uniformes (Bache and Williams, 1971). L'équation ne peut distinguer les phénomènes d'adsorption et de précipitation et l'application de cette dernière est valable uniquement s'il y a certitude que l'enlèvement du phosphore est dû au phénomène d'adsorption. Lorsque l'équation de Langmuir est appliquée à une isotherme qui n'est pas du type L et que seulement de faibles concentrations sont utilisées, une erreur de 50% ou plus peut être effectuée sur l'estimation par extrapolation du potentiel maximal d'adsorption (Harter, 1984). L'équation de Langmuir suppose qu'il existe une seule population de sites qui ont tous la même énergie d'adsorption, ce qui ne représente pas le processus d'adsorption de façon réaliste (Barrow, 1978).

L'équation de Langmuir ayant plusieurs limites, certains auteurs utilisent l'équation empirique de Freundlich qui tient compte de l'hétérogénéité de surface en exprimant la distribution exponentielle des sites et de leur énergie (éq. 3.9). Les sites d'adsorption possèdent des potentiels d'adsorption différents. Ainsi, un soluté est d'abord adsorbé par les sites de potentiel élevé et ensuite par les sites de potentiel plus faible.

$$\frac{x}{m} = k_F \cdot C_e \qquad \text{(éq. 3.9)}$$

Malgré le fait que l'utilisation de l'équation de Langmuir comporte plusieurs désavantages, ce modèle mathématique est encore aujourd'hui le plus utilisé puisqu'il permet, contrairement à l'équation de Freundlich, de calculer le potentiel maximal d'adsorption en plus du coefficient d'adsorption. Il existe beaucoup d'autres modèles d'interprétation des courbes isothermes moins utilisés que ceux de Langmuir et Freundlich qui ont été retenus dans ce mémoire.

3.3.2 Essais en colonnes

Les essais en colonnes sont utilisés pour étudier l'enlèvement du phosphore par un matériau granulaire à plus long terme que les essais en flacons. Divers matériaux ont été testés en colonnes, mais toutes ces études n'avaient pas nécessairement les mêmes objectifs (tableau 3.2). Par exemple, Johansson (1998) a étudié les mécanismes d'enlèvement du phosphore par des scories d'acier à l'aide d'analyses chimiques et minéralogiques. Drizo (1998) a déterminé l'adsorption maximale du phosphore par le shale par des essais en colonnes.

L'analyse comparative des résultats publiés est difficile parce que les performances des matériaux testés en colonnes sont présentées de diverses façons. Certains auteurs déterminent la performance des matériaux par l'efficacité d'enlèvement du phosphore en fonction du temps (Comeau *et al.*, 1999) alors que d'autres présentent la quantité de phosphore enlevée par masse de matériau en fonction du temps (Drizo, 1998; Johansson, 1998). L'enlèvement du phosphore peut aussi être présenté par une courbe C/C_o en fonction du nombre de volumes de pores (Blowes *et al.*, 1999).

Bien que l'utilité des essais en colonnes soit reconnue, l'effet des différents paramètres, tels le temps de contact, la saturation, la température, le pH, le type d'écoulement et la présence de matière organique, n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études jusqu'à maintenant. Il serait intéressant de comparer différentes conditions expérimentales afin de déterminer celles qui favorisent l'enlèvement du phosphore.

Tableau 3.2 : Essais d'adsorption en colonnes

Matériaux	Résultats	Méthode	Références
Tourbe et sable amendés avec des hydroxydes de fer ou de la laine d'acier	La tourbe + 60g/kg de laine d'acier a été le mélange le plus performant : 4 mg P/g Le sable + laine d'acier a montré des performances moins élevées Les mélanges avec les hydroxydes de fer n'ont pas été très performants	Colonnes de 2,9 et 0,7 cm Alimentation: 0,5 L/d Électrolyte: KNO_3 [P] = 50 mg P/L Durée de l'essai : 22 jours de drainage	Bruce, 1992
Gravier Scories d'acier BF Scories d'acier	0,01 et 0,02 mg P/g 0,09 mg P/g 0,08 mg P/g	12 colonnes de 15 cm de hauteur et de 2,5 cm de diamètre [P] = 10 mg P/L	Mann, 1997
Essai 1 LECA Essai 2 Sable + opoka / sable Sable / opoka / sable LECA + opoka / leca	Entre 13 et 15% d'enlèvement P Aucune différence significative. Entre les conditions saturées et non saturées 71% (1,37 kg P/m^3) 52% (1,00 kg P/m^3) 65% (1,26 kg P/m^3)	Colonnes de 75 cm de hauteur et 30 cm de diamètre Épaisseur du matériau : 50 cm Alimentation : 0,6 L à chaque 2 heures Essai 1 [P] = 200 mg P/L Durée de l'essai: 3 mois Essai 2 [P] = 160 mg P/L Durée de l'essai : 2 mois	Johansson, 1997
50% sable + 45% calcaire + 5% d'oxydes de fer 50% sable + 40% calcaire + 10% d'oxydes d'aluminium	Enlèvement moyen de > 90% [P] < 0,01 mg P/L durant toute la période d'essai	2 colonnes [P] = 3,3 mg P/L Durée de l'essai : colonne 1, 4 ans colonne 2, 2 ans	Baker *et al.*, 1998
Scories d'acier amorphes (SA) et cristallines (SC) (0-0,125 mm et 0,25-4 mm) Scories (SA et SC) + sable	Les scories d'acier (SA et SC) et le mélange scories d'acier (SA) + sable ont montré des performances près de 100% durant tout l'essai Les autres mélanges montraient des performances d'environ 50% à la fin de l'essai	7 colonnes de 75 cm de hauteur et de 30 cm de diamètre [P] = 10 mg P/L Alimentation : 0,6 L à chaque 2 heures Durée de l'essai : 13 mois	Johansson *et al.*, 1999
Bauxite Shale Cendres volantes LECA	0,16 mg P/g (40 d) et M = 0,35 0,4 mg P/g (40 d) et M = 0,73 0,3 mg P/L (40 d) ≅ 0,15 mg P/g (40 d)	12 colonnes de 90 cm de hauteur et de 10 cm de diamètre Épaisseur de matériau : 60 cm Alimentation : 3 L/d [P] = 5 mg P/L Temps de séjour : 12h Durée de l'essai : 40 d Après 40 jours, l'essai se poursuit pour la bauxite et le shale et [P] est augmentée à 35-45 mg P/L	Drizo, 1999
Calcaire 90% sable + 10% calcaire	Le mélange sable et calcaire s'est montré plus performant que le calcaire	3 colonnes de 3 m de hauteur et de 15 cm de diamètre	Comeau *et al.*, 1999
13 sables Calcite Marbre Terre diatomée LECA Vermiculite Quartz + 5% et 10% calcite Quartz + 5% et 10% marbre	Le sable le plus performant a donné un enlèvement de > 80% La calcite a donné la meilleure performance (> 90% d'enlèvement), suivi du marbre et de la terre diatomée (environ 75 et 70%)	44 colonnes de 9,5 cm de diamètre Quantité de matériau : 700 cm^3 Alimentation: 0,24 L/d [P] = 10 mg P/L Temps de séjour: 12-14 h	Brix *et al.*, 2000

CHAPITRE 4
ESSAIS D'ADSORPTION EN FLACONS

4.1 Objectifs

L'objectif principal des essais d'adsorption en flacons dans cette étude était de comparer la performance de divers matériaux granulaires quant à l'enlèvement du phosphore dissous et de sélectionner les matériaux les plus performants pour des essais en colonnes.

Les objectifs spécifiques étaient :

1. Effectuer un inventaire des matériaux ayant un potentiel d'enlèvement du phosphore et qui sont disponibles au Québec.
2. Établir un protocole expérimental pour les essais d'adsorption du P en flacons.
3. Évaluer la performance d'enlèvement du phosphore par différents matériaux.
4. Sélectionner les matériaux les plus adéquats pour la construction d'un marais filtrant selon des critères physiques, de performance et économiques.

4.2 Inventaire des matériaux

Plusieurs matériaux (57) ont été récupérés pour les essais d'adsorption : des calcaires (31), des sables et graviers (5), du shale (1), du béton recyclé (1), de la laine d'acier (1), des scories (1), des scories d'acier (4), de la serpentine (6), des broches pour le béton (4), des boues de traitement des eaux acides (1), de l'alumine activée (1) et des granules de fer modifiées au soufre (1). La liste cumulative des matériaux récupérés pour cette étude ainsi qu'une carte des régions administratives du Québec sont présentées à l'annexe 1 (tableau A1.1 et figure A1.1).

Les matériaux ont été choisis selon deux hypothèses, soit:

1. Les matériaux riches en Ca, Al et Fe sont efficaces pour immobiliser le phosphore dissous.

2. Les matériaux ayant un pH_{zpc} élevé (tableau A1.2, Annexe 1) favorisent l'adsorption des anions puisqu'ils ont tendance à posséder une surface chargée positivement dans des eaux normales ($6<pH<8$).

4.3 Protocole expérimental pour les essais d'adsorption en flacons

Plusieurs auteurs utilisent la méthodologie développée par Nair *et al.* (1984) ou une version modifiée de celle-ci pour évaluer le potentiel d'adsorption du phosphore de divers matériaux pouvant être utilisés pour le traitement des eaux usées (Mann, 1997; Zhu *et al.*, 1997; Drizo, 1998; Johansson, 1998). L'effet de certains paramètres de ce protocole a été vérifié à l'aide de divers essais d'adsorption. Les résultats sommaires sont présentés dans cette section alors que les résultats détaillés des essais en flacons et des essais granulométriques sont fournis respectivement aux annexes 2 et 3.

4.3.1 Quantité de matériau, ratio matériau / solution et vitesse d'agitation

L'influence de la quantité de matériau dans les flacons, du ratio matériau / solution et de la vitesse d'agitation a été déterminée à l'aide de 3 protocoles (tableau 4.1). Le protocole I propose d'utiliser une masse de matériau de 100 g, un ratio matériau / solution de 1 :10 et une vitesse d'agitation de 200 rpm. Le protocole II se différencie en testant un ratio matériau / solution de 1 :20 avec une masse de 50 g et une vitesse d'agitation de 200 rpm. Finalement, le protocole III teste une vitesse d'agitation plus faible, soit 100 rpm avec une masse de 50 g et un ratio matériau / solution de 1 :10. Tous les essais ont été effectués avec un calcaire provenant de la carrière Graybec située à Joliette (Québec) dont la granulométrie était de 2,5 à 6,3 mm, avec une solution électrolyte (0,01 M $CaCl_2$) dont les concentrations en phosphore variaient de 0 à 1000 mg P/L et durant une période de 24 h.

Tableau 4.1 : Protocoles utilisés pour les essais d'adsorption des phosphates

Paramètre	Protocole I	Protocole II	Protocole III
Matériau	Roche calcaire 2.5 à 6.3 mm.		
Quantité de matériau	100 g	50 g	50 g
Ratio (poids/volume) matériau/solution	1:10	1:20	1:10
Vitesse d'agitation[1]	200 rpm	200 rpm	100 rpm
Concentrations de P testées [2]	0, 2,5, 5, 10, 30, 100, 300 et 1000 mg P/L		
Nature et concentration de l'électrolyte	$CaCl_2$ 0,01 M		
Durée de l'essai	24 h		

Notes [1] Un mélangeur giratoire ayant un diamètre de rotation de 25 mm a été utilisé.

[2] Du KH_2PO_4 a été utilisé pour préparer les différentes solutions.

Pour chacun des protocoles, l'isotherme d'adsorption est présentée à la figure 4.1 et ce pour des concentrations initiales variant de 0 à 1000 mg P/L. Des concentrations suffisamment élevées doivent être testées afin que l'isotherme obtenue présente un plateau et c'est pourquoi des concentrations aussi élevées que 1000 mg P/L ont été utilisées. Les isothermes ont ensuite été modélisées à l'aide de l'équation de Langmuir dont les paramètres sont indiqués à la figure 4.1. Les maxima d'adsorption définis selon cette équation reposent principalement sur une donnée, soit celle obtenue pour une concentration initiale de 1000 mg P/L. Il n'est pas assuré que celle valeur soit représentative du maximum d'adsorption d'un matériau granulaire utilisé pour traiter des effluents dont la concentration en phosphore est de l'ordre de celles retrouvées dans les boues de pisciculture et non de 1000 mg P/L. Il ne faut donc en aucun temps se baser sur ces valeurs pour prédire la performance du matériau à long terme ou pour définir des critères de conception d'un système de traitement.

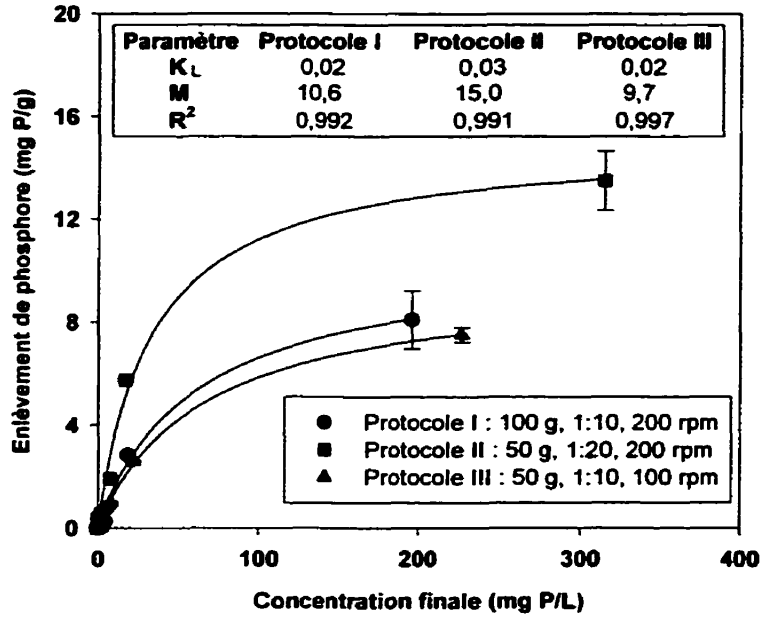


Figure 4.1 : Enlèvement des phosphates en mg P/g de matériau. Électrolyte: 0,01 M CaCl2, [P] = 0 à 1000 mg P/L. 3 réplicata.

Les isothermes peuvent toutefois être comparées qualitativement afin d'évaluer l'influence des 3 paramètres testés. Les isothermes de Langmuir obtenus pour les protocoles I et III sont comparables alors que celle obtenue pour le protocole II présente un enlèvement de phosphore dissous plus élevé. Le seul paramètre du protocole II qui diffère à la fois du protocole I et du protocole III est le ratio matériau / solution qui est plus faible. Ce ratio plus faible permet un meilleur contact entre les particules de matériau et la solution de phosphore et ainsi un meilleur enlèvement. Cette observation permet aussi de présumer que les systèmes n'atteignent pas tous l'équilibre après 24 heures d'agitation et qu'un système dont le ratio matériau / solution est faible atteindra plus rapidement l'équilibre. Un ratio matériau / solution de l'ordre de 1 :20 est donc privilégié à celui de 1 :10.

Les résultats des protocoles I et III sont semblables bien que la quantité de matériau testée ainsi que la vitesse d'agitation aient été réduites de moitié. La masse de matériau utilisée doit être assez élevée pour que l'échantillon soit représentatif du matériau quant à sa minéralogie et à sa granulométrie. Par contre, une faible masse de matériau est plus

pratique puisqu'elle permet d'utiliser des flacons d'une grosseur raisonnable. Pour un même ratio matériau / solution, la masse de 50 g utilisée dans le protocole III était probablement suffisante et l'utilisation d'une masse de 100 g dans le protocole I n'a pas apporté de changement significatif aux résultats.

La vitesse d'agitation doit être assez élevée pour favoriser un bon contact entre les particules et la solution sans toutefois provoquer le bris des particules parce que le potentiel d'adsorption risque alors d'être surestimé. Les particules étaient en mouvement dans des flacons de 1 litre à des vitesses d'agitation de 100 rpm et de 200 rpm et les résultats des essais granulométriques effectués avant et après les essais d'adsorption ne montrent aucune érosion significative des particules causée par l'agitation (figure 4.2). De plus, la surface spécifique a été calculée à partir de la granulométrie pour chacun des échantillons selon une méthode développée par Chapuis et Légaré (1992) et les valeurs sont semblables (tableau 4.3). Une vitesse d'agitation entre 100 et 200 rpm semble donc adéquate pour un mélangeur giratoire ayant un diamètre de rotation de 25 mm et pour le type de matériaux testés, c'est-à-dire ayant des granulométries de sables et graviers.

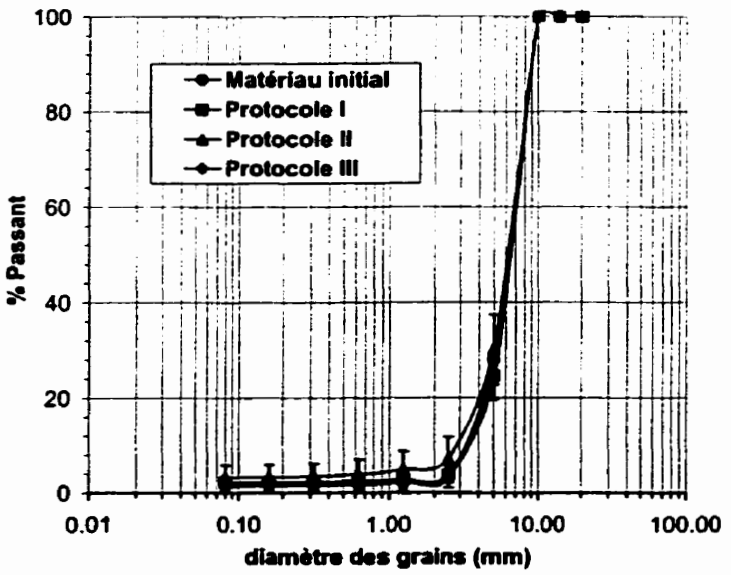


Figure 4.2 : Courbes granulométriques des échantillons de calcaire utilisés pour les essais d'adsorption en flacons

Tableau 4.2 : Surface spécifique moyenne pour chacun des protocoles

Protocole	Surface spécifique (m^2/kg)
Matériau initial	1,5 [1]
I: 100 g dans 1L (1:10) / 200 rpm	1,6 ± 0,4
II: 50 g dans 1L (1:20) / 200 rpm	1,9 ± 0,5
III: 50 g dans 0,5L (1:10) / 100 rpm	1,3 ± 0,6

Note [1] L'écart type n'est pas fourni puisque la surface spécifique a été calculée uniquement pour un échantillon.

Les maxima d'adsorption obtenus pour les trois protocoles (entre 10 et 15 mg P/g) semblent très élevés par rapport aux résultats relevés dans la littérature, particulièrement pour une roche calcaire. L'utilisation de concentrations en phosphore très élevées par rapport à celle des effluents à traiter peut surestimer le potentiel d'adsorption réel. Il est conseillé d'utiliser des concentrations de l'ordre de celles retrouvées dans les effluents à traiter. Des concentrations légèrement plus élevées doivent également être testées afin d'être en mesure de définir un maximum d'adsorption par interpolation et d'obtenir une relation mathématique appropriée. Lorsque l'isotherme d'adsorption est produit seulement à partir de faibles concentrations, l'utilisation d'une équation mathématique, telle Langmuir, peut fournir une erreur de plus de 50% sur l'estimation du maximum d'adsorption (Harter, 1984).

L'utilisation du chlorure de calcium comme électrolyte pourrait aussi expliquer la surestimation des maxima d'adsorption à cause de la précipitation du phosphore par le calcium en solution (Barrow, 1980).

4.3.2 Essais avec différents électrolytes

Des essais d'adsorption en flacons ont été effectués avec des scories d'acier 2,5-10 mm à l'aide de trois électrolytes différents (NaCl, KCl et $CaCl_2$) et ont été comparés à un essai effectué sans électrolyte. Les isothermes d'adsorption ainsi que les paramètres de l'équation de Langmuir sont semblables sauf pour l'essai effectué avec du $CaCl_2$ où la

courbe est pratiquement une droite verticale (figure 4.3). L'enlèvement de phosphore est beaucoup plus élevé lorsque cet électrolyte est utilisé, ce qui pourrait être expliqué par la précipitation du phosphore par le calcium en solution. L'utilisation du $CaCl_2$ comme électrolyte pour les essais d'adsorption est donc déconseillée puisqu'il interfère dans la détermination du potentiel d'enlèvement du phosphore des matériaux.

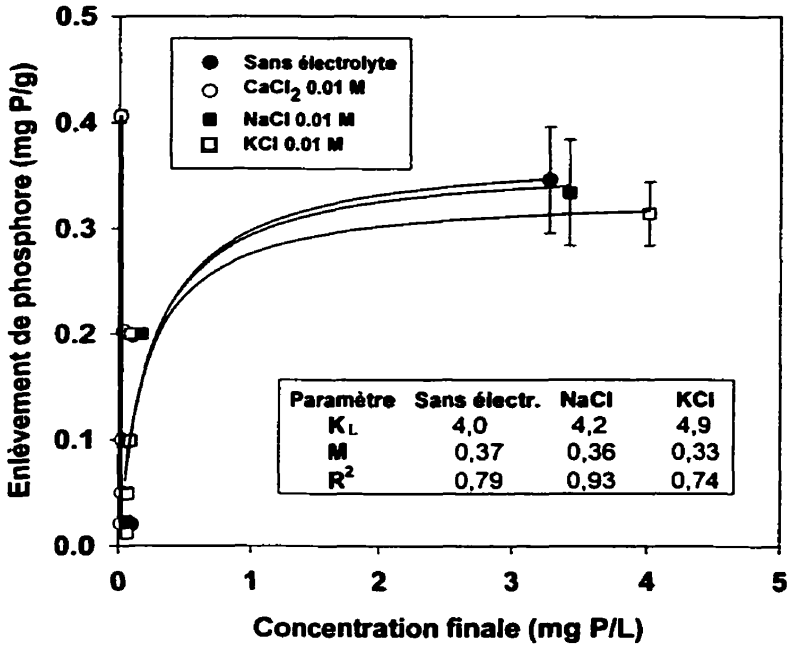


Figure 4.3 : Isothermes d'adsorption avec divers électrolytes, Scories d'acier 2,5 à 10 mm

4.3.3 Effet du temps de contact

Il est souvent mentionné dans la littérature que les modèles mathématiques développés pour représenter les isothermes d'adsorption sont applicables uniquement lorsque la concentration en solution a atteint l'équilibre, c'est-à-dire lorsqu'elle ne varie plus dans le temps. Étant donné que l'adsorption est un mécanisme relativement rapide, les temps de contact utilisés sont généralement de l'ordre de 24 h (Mann, 1997; Zhu *et al.*, 1997; Johansson, 1998; Drizo, 1999). L'utilisation de temps de contact plus longs (de l'ordre

de plusieurs jours) résulte en un enlèvement du phosphore plus élevé qui peut être expliqué par des processus plus lents que l'adsorption, tels la précipitation et la diffusion dans les grains.

L'effet du temps de contact a été étudié à l'aide d'un essai en flacons effectué sur un calcaire prélevé dans la carrière de Saint-Ferdinand. Les résultats (figure 4.4) ne sont pas modélisés à l'aide de l'isotherme de Langmuir puisque l'équation de Freundlich semble mieux représenter les processus d'enlèvement du phosphore par les calcaires que cette dernière. Le principal désavantage de l'équation de Freundlich est qu'elle ne définit pas un maximum d'adsorption, mais uniquement un coefficient d'adsorption. La combinaison des 2 équations permet de mieux modéliser les processus d'enlèvement du phosphore par les calcaires tout en déterminant un maximum d'adsorption. L'équation utilisée pour modéliser les résultats est donc celle de Langmuir-Freundlich. Les caractéristiques des modèles mathématiques seront vues plus en détails à la section suivante (section 4.4).

Plus le temps de contact est élevé et plus le maximum d'adsorption estimé semble élevé. Les résultats obtenus pour les temps de contact de 72 h et 96 h ne permettent pas d'estimer adéquatement un plateau puisque la courbe ressemble plutôt à une droite. Les maxima obtenus de cette estimation sont par conséquent irréalistes avec des valeurs très élevées de 43,9 et 3,78 mg P/g.

Les concentrations en phosphore semblent les mêmes pour les temps de contact de 72 h et 96 h, ce qui pourrait nous inciter à choisir un temps de contact de 72 h pour les essais d'adsorption. Il n'est pourtant pas assuré que le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre entre la solution et un matériau autre que le calcaire de Saint-Ferdinand soit le même. De plus, la cinétique de l'enlèvement du phosphore par des matériaux granulaires n'étant pas très bien connue, il n'est pas certain que le phosphore soit enlevé uniquement par un processus d'adsorption après une période de contact de 72 h. L'utilisation d'équations mathématique représentant l'adsorption ne serait alors plus appropriée.

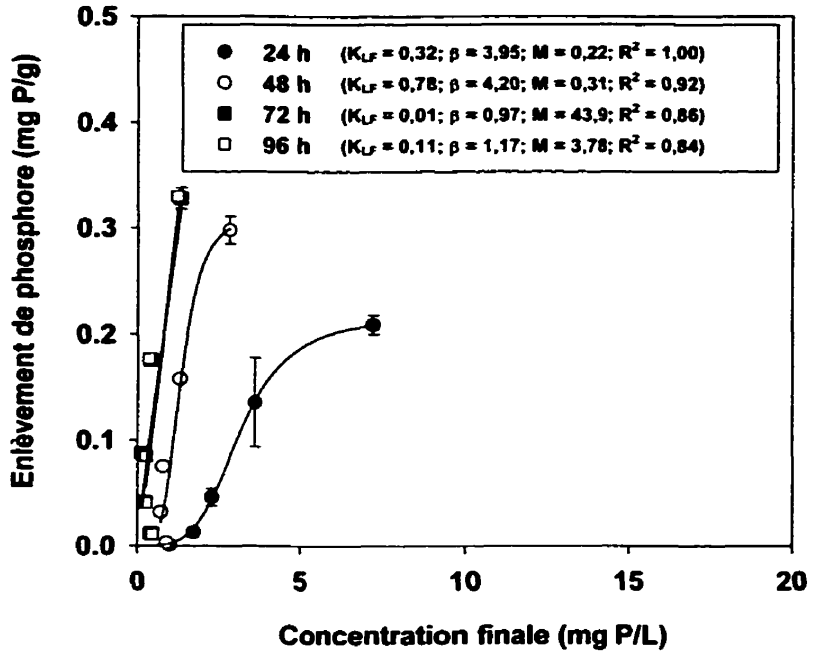


Figure 4.4 : Effet du temps de contact sur l'allure de l'isotherme LF

Pour mieux comprendre la cinétique des mécanismes d'enlèvement du phosphore lors des essais en flacons, la concentration du phosphore et le taux d'enlèvement du phosphore (C/C_o) ont été tracés en fonction du temps (figure 4.5). Le taux d'enlèvement semble varier avec la concentration, c'est-à-dire que plus la concentration est forte et plus le taux d'enlèvement est élevé (figure 4.5 a).

L'ordre de réaction de l'enlèvement du phosphore est évalué à l'aide de la figure 4.5 b. Les courbes ont une allure similaire sauf celle de 1 mg P/L qui ne semble pas être représentative du processus d'enlèvement. Ce résultat peut être expliqué par une erreur d'analyse relative plus importante pour de faibles concentrations. Le fait de diviser deux faibles concentrations imprécises (C et C_o) augmente l'erreur totale et les écart types obtenus pour la courbe de 1 mg P/L le confirment. Il est difficile d'établir l'ordre de la réaction étant donné que les processus impliqués dans l'enlèvement du phosphore sont nombreux et que la cinétique de chacun d'eux n'est pas bien définie dans la littérature.

Nous pouvons toutefois prétendre que l'enlèvement est suffisamment significatif après 24 h d'agitation pour obtenir une isotherme d'adsorption adéquate pour des fins de comparaison de l'efficacité des matériaux. L'utilisation d'un temps de contact de cet ordre est donc retenu pour cette raison et aussi pour des raisons pratiques.

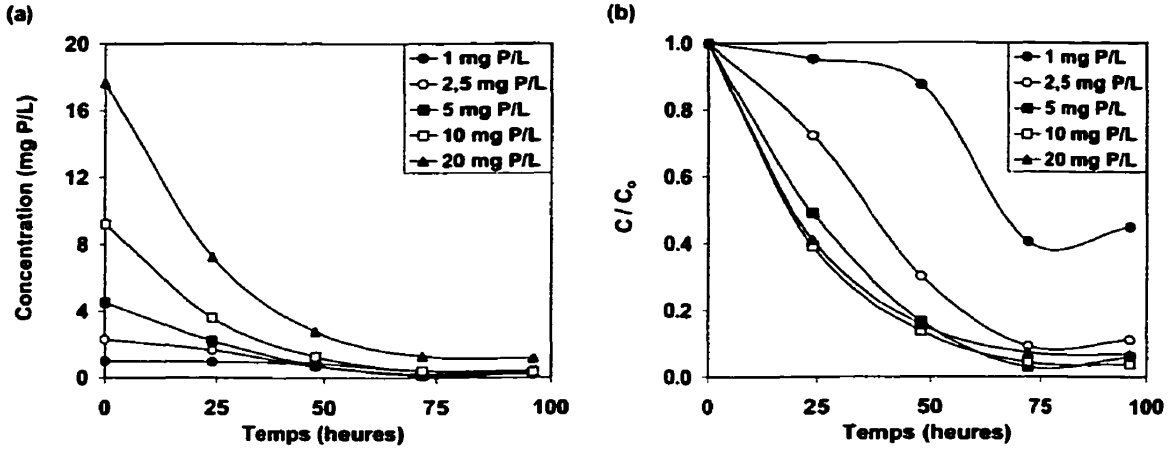


Figure 4.5 : Variation de la concentration dans le temps

4.3.4 Protocole proposé pour cette étude

Les essais d'adsorption en flacons réalisés jusqu'ici ont permis de montrer que les différents paramètres du protocole expérimental avaient une influence sur les résultats obtenus. L'estimation du potentiel d'enlèvement du phosphore par les divers matériaux dépend ainsi des conditions expérimentales de l'essai. Il a été souligné dans le chapitre 3 du présent mémoire que les différents auteurs n'effectuent pas leurs essais d'adsorption dans les mêmes conditions expérimentales et par le fait même, les résultats retrouvés dans la littérature sont difficilement comparables. Il y a donc un réel besoin d'établir un protocole expérimental standard pour les essais en flacons.

Les résultats obtenus dans les études antérieures ainsi que dans cette étude nous permettent de suggérer des valeurs pour plusieurs paramètres du protocole des essais en flacons (tableau 4.3).

Tableau 4.3 : Paramètres suggérés pour les essais d'adsorption en flacons.

Paramètre	Fonction	Valeur suggérée	Références
Quantité de matériau	• Assurer un échantillon représentatif au niveau de la granulométrie et de la composition chimique	20 à 50 g, selon la granulométrie	Mann (1997); Drizo (1998); Drizo *et al.* (1999); Cette étude
Ratio (poids/volume) Matériau / solution	• Assurer un transfert de masse suffisant	1:20	Nair *et al.*(1984); ASTM (1993); Cette étude
Intensité d'agitation	• Assurer un transfert de masse suffisant • Minimiser l'abrasion des particules	Entre 100 et 200 rpm pour un mélangeur ayant un diamètre de rotation de 25 mm	Cette étude
Intervalle de concentrations initiales en P	• Être représentatif de l'application • Obtenir une relation mathématique appropriée	Min. de 5 conc. allant jusqu'à au moins deux fois le max. envisagé	Drizo (1998); Drizo *et al.* (1999); Johansson (1998).
Durée de l'essai	• Représenter l'adsorption rapide • Minimiser la dégradation microbienne	24 h	Cette étude

4.4 Performance des matériaux selon des modèles mathématiques

Plusieurs isothermes d'adsorption ont été développées pour modéliser le phénomène d'adsorption d'un gaz sur un solide. Ces modèles, principalement les modèles de Langmuir et de Freundlich, ont ensuite été appliqués à des systèmes liquide-solide avec un certain succès (Syers, 1973).

L'équation de Langmuir est très utilisée puisqu'elle permet de déterminer un maximum d'adsorption en plus d'un coefficient d'adsorption (tableau 4.4). Cette équation suppose que l'énergie d'adsorption est la même pour tous les sites et que chacun d'eux ne peut recevoir qu'une seule molécule.

Contrairement à l'équation de Langmuir, celle de Freundlich exprime la distribution exponentielle des sites et de leur énergie (tableau 4.4). Bien que ce modèle soit empirique, les hypothèses sur lesquelles il repose semblent plus réalistes. Le désavantage de cette équation est que la comparaison des matériaux s'effectue selon un seul paramètre, soit le coefficient d'adsorption (K_F), alors que l'équation de Langmuir permet en plus d'obtenir un maximum d'adsorption (M).

L'équation de Langmuir-Freundlich (LF) est essentiellement l'isotherme de Freundlich avec les propriétés asymptotiques suivantes: la relation log (x/m) - log Ce est linéaire pour une partie de l'isotherme, mais le modèle LF approche un maximum pour les concentrations élevées (Kinniburgh, 1986). Cette équation permet donc de modéliser la distribution exponentielle des sites et de leur énergie tout en estimant un maximum d'adsorption permettant de caractériser le matériau étudié.

Tableau 4.4 : Modèles mathématiques représentant les isothermes d'adsorption

Modèles	Équations	Hypothèses
Langmuir	$\frac{x}{m} = \frac{MK_L C_e}{1+K_L C_e}$	1. Chaque site ne peut recevoir qu'une seule molécule (une couche). 2. L'énergie d'adsorption est la même pour tous les sites. 3. Les molécules adsorbées ne peuvent ni migrer sur la surface ni interagir entre elles. 4. Ce modèle permet de déterminer un maximum d'adsorption
Freundlich	$\frac{x}{m} = (K_F C_e)$	1. L'hétérogénéité de surface est considérée. 2. Cette équation exprime la distribution exponentielle des sites et de leur énergie. 3. Ne permet pas d'obtenir un maximum d'adsorption
Langmuir-Freundlich	$\frac{x}{m} = \frac{(K_{LF} C_e) \cdot M}{(1+(K_{LF} C_e))}$	1. L'hétérogénéité de surface est considérée. 2. Cette équation exprime la distribution exponentielle des sites et de leur énergie. 3. Ce modèle permet de déterminer un maximum d'adsorption

Plusieurs matériaux (6 calcaires, 1 gravier et 1 shale) ont été testés à l'aide d'essais d'adsorption et selon les paramètres présentés au tableau 4.3. Les résultats détaillés sont fournis à l'annexe 2. Les résultats ont été modélisés selon les équations de Langmuir, Freundlich et Langmuir-Freundlich afin de définir les caractéristiques d'adsorption de ces matériaux (figure 4.6).

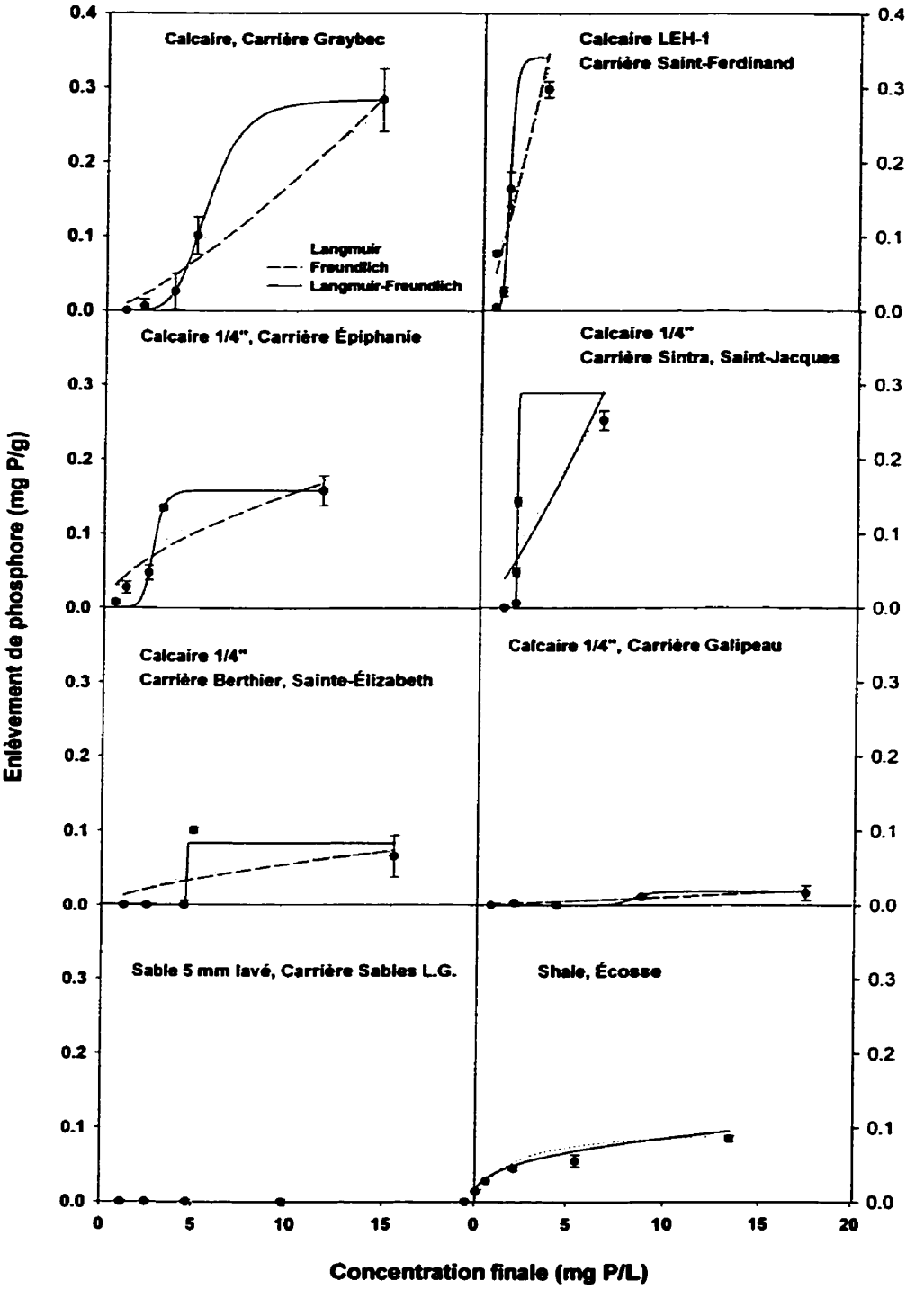


Figure 4.6 : Résultats des essais d'adsorption. L'équation de Langmuir est représentée par ····· , celle de Freundlich par ____ et celle de Langmuir-Freundlich par _____ .

Les résultats des essais d'adsorption sur les calcaires définissent des isothermes de type S qui présentent une pente initiale faible qui ensuite augmente avec la concentration. Ce comportement peut être expliqué par le fait que les molécules ont une plus grande affinité pour la solution que pour la surface et que l'adsorption devient significative lorsque la solution est plus concentrée (Sposito, 1989). Ces isothermes sont mieux modélisées par l'équation de Langmuir-Freundlich qui permet une distribution exponentielle des sites et de leur énergie tout en définissant un maximum d'adsorption.

L'essai d'adsorption effectué sur le shale d'Écosse résulte plutôt en une isotherme de type L. Cette isotherme décrit une relation où les molécules ont une grande affinité pour la surface lorsque celle-ci est libre et où le taux d'adsorption diminue au fur et à mesure que la quantité de molécules adsorbées augmente. L'équation de Langmuir est donc appropriée pour représenter les résultats de l'essai d'adsorption et l'équation de Langmuir-Freundlich n'apporte pas d'information supplémentaire significative.

Selon la composition des matériaux testés, les mécanismes d'enlèvement ne sont pas nécessairement les mêmes et donc les isothermes d'adsorption ont des formes différentes. Il n'est alors pas possible de modéliser toutes les isothermes selon la même équation. Bien qu'il existe plusieurs modèles mathématiques pour représenter les isothermes d'adsorption, les coefficients d'adsorption déterminés par ces modèles ne sont pas directement comparables. La modélisation des isothermes d'adsorption ne semble donc pas un bon outil pour sélectionner les matériaux les plus performants.

La sélection des matériaux devrait donc se faire selon la performance du matériau pour une concentration donnée, celle représentant l'effluent à traiter. Les matériaux sont donc comparés à l'aide d'un paramètre R_d (ml/g), tel que suggéré dans la norme ASTM D4646-87. Le paramètre R_d représente un coefficient d'adsorption pour un système n'ayant pas nécessairement atteint l'équilibre et pour une concentration donnée.

4.5 Performance des matériaux selon le coefficient Rd

4.5.1 Méthodologie

L'essai consiste à mélanger un matériau avec une solution de phosphore de concentration connue durant une période de 24 h afin de déterminer un coefficient R_d représentatif de l'enlèvement de phosphore par des mécanismes d'adsorption (équation 4.1).

$$R_d = \frac{(C_o - C_{24h}) \cdot V}{M_s \times C_{24h}} \qquad \text{(éq. 4.1)}$$

Cet essai est une version légèrement modifiée de la norme ASTM D4646-87 *Standard Test Method for 24-h Batch-Type Measurement of Contaminant Sorption by Soils and Sediments* (1993). Le mélangeur giratoire utilisé pour réaliser l'essai ne correspond pas au modèle suggéré dans la norme qui produit une rotation de la bouteille de haut en bas et par conséquent, la vitesse de rotation a été modifiée. Rd représente un coefficient d'adsorption pour une concentration en phosphore donnée et n'indique en aucun temps l'atteinte d'un maximum d'adsorption.

4.5.2 Résultats

Les essais d'adsorption ont été effectués avec une solution de 1 mg P/L qui est une concentration représentative bien qu'un peu plus élevée que celle d'un effluent piscicole. Les matériaux ayant donné les meilleurs rendements (Rd > 100 ml/g) sont présentés à la figure 4.7. Les résultats obtenus pour tous les matériaux sont fournis à l'annexe 2 (figure A2.1 et tableau A2.5).

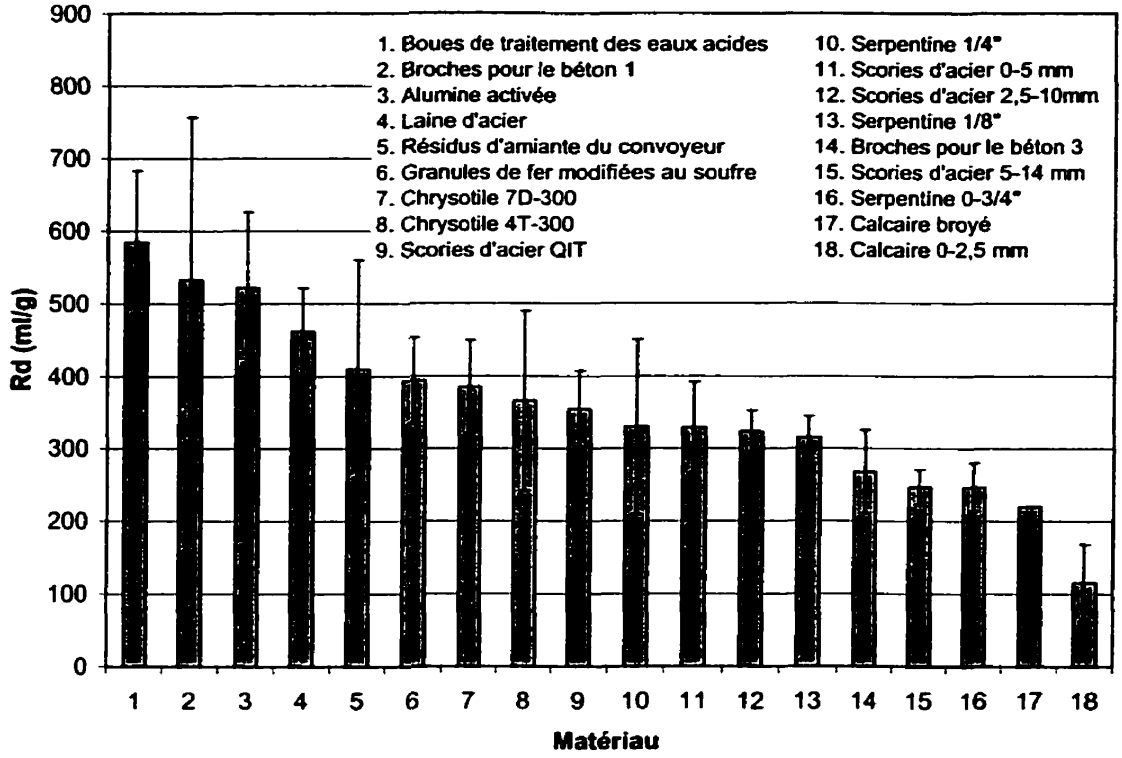


Figure 4.7 : Coefficient d'adsorption des matériaux les plus performants pour C_o = 1 mg P/L.

Il est évident qu'en travaillant avec des concentrations initiales et finales faibles, il est plus difficile d'obtenir des résultats reproductibles puisque l'erreur relative est plus élevée. C'est pourquoi l'écart type est relativement élevé pour l'ensemble des matériaux. Les taux de variation élevés peuvent aussi être expliqués par la difficulté d'obtenir des échantillons homogènes pour certains matériaux à cause de leur granulométrie très étalée.

4.6 Sélection des matériaux

Les matériaux s'étant montrés les plus performants lors des essais en flacons ont été retenus pour les essais en colonnes. Ces matériaux correspondent à ceux présentés à la figure 4.7. L'obtention d'un coefficient Rd supérieur à 100 a été le critère de sélection établi de façon arbitraire.

Certains matériaux se sont montrés performants lors des essais d'adsorption en flacon, mais ne possèdent pas les caractéristiques physiques appropriés pour être utilisés comme substrat dans un marais artificiel. La granulométrie des matériaux est en effet importante pour permettre un écoulement homogène dans le marais artificiel et aussi pour éviter le colmatage des lits filtrants. C'est pourquoi les matériaux fibreux comme la chrysotile (7 et 8) et les résidus d'amiante du convoyeur (5) ainsi que les matériaux possédant des particules très fines comme les boues de traitement des eaux acides (1), la scorie d'acier de QIT (9) et le calcaire broyé (17) ont été mis de côté et ne seront pas utilisés pour les essais en colonne.

La laine d'acier (4), les granules d'alumine activée (3), les broches pour le béton (2 et 14) et les granules de fer modifiées au soufre (6) ont donné des coefficients R_d intéressants et ont des propriétés physiques convenables, mais leur performance ne justifie pas le coût associé à leur utilisation comme substrat. Ils ne sont donc pas sélectionnés pour les essais en colonne.

Les matériaux sélectionnés pour les essais en colonnes ainsi que leurs propriétés physiques sont énumérés au tableau 4.5. Étant donné que le budget alloué à l'achat de matériel expérimental était limité et que les essais en colonnes devaient être effectués en duplicata, il a été décidé de tester les 2 matériaux les plus prometteurs, soit les scories d'acier de la compagnie Ispat-Sidbec et la serpentine de la mine Bell. Ces deux matériaux sont offerts dans 3 granulométries différentes. L'enlèvement du phosphore à l'aide de matériaux granulaires étant principalement un phénomène de surface, une surface spécifique élevée et donc une granulométrie fine sont privilégiées. La serpentine testée est donc celle possédant une granulométrie de 1/8". La scorie d'acier choisie devrait être celle dont les grains ont un diamètre allant de 0 à 5 mm, mais le matériau démontre une instabilité interne selon un critère développé par Chapuis (1992). Un matériau est instable lorsqu'une masse de particules fines se déplace dans les pores du squelette fixe formé par la partie grossière du matériau. Cette instabilité se produit si la pente de la tangente à la courbe granulométrique est inférieure à 20% pour un cycle. La

courbe granulométrique des scories d'acier 0 à 5 mm montre qu'environ 12% des particules fines sont mobiles dans le matériau (figure 4.8). Ces fines pourraient colmater le lit filtrant et ainsi créer des chemins d'écoulement préférentiel. Les scories d'acier de diamètre allant de 2,5 à 10 mm seront donc celles testées en colonnes.

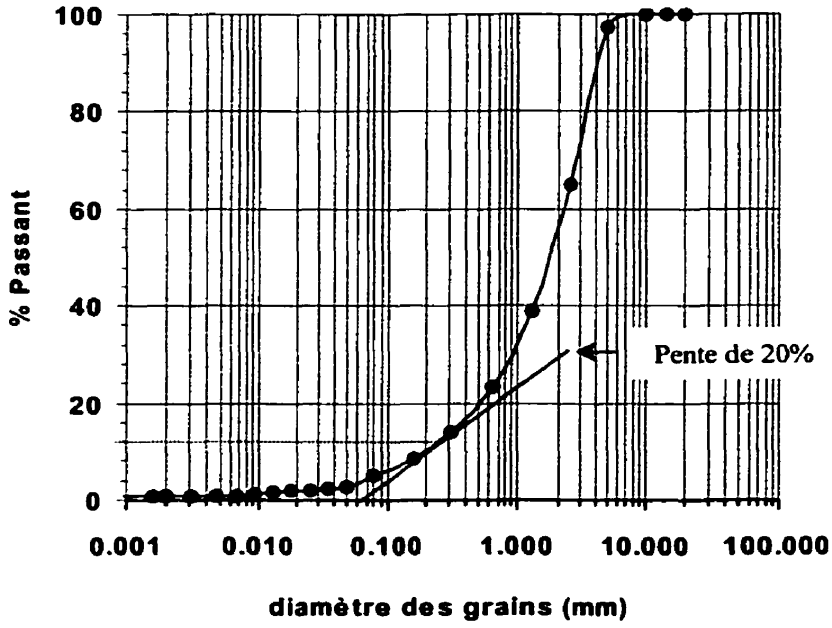


Figure 4.8 : Courbe granulométrique des scories d'acier (0 à 5 mm)

Tableau 4.5 : Propriétés physiques des matériaux sélectionnés

Matériau	Densité relative (Dr)	Coefficient d'uniformité $Cu = D_{60} / D_{10}$	Surface spécifique (m^2/kg)
10	2,673	6,1 / 3,0 = **2,0**	0,7
11	3,796	2,1 / 0,2 = **10,5**	24,8
12	3,784	7,4 / 4,1 = **1,8**	0,6
13	2,687	1,6 / 0,81 = **2,0**	2,6
15	3,590	11 / 6,4 = **1,7**	0,4
16	n.d.	n.d.	n.d.
18	2,849	n.d.	n.d.

CHAPITRE 5
ESSAIS EN COLONNES

5.1 Objectifs

L'objectif principal des essais en colonne était de définir, à moyen terme, l'efficacité d'enlèvement du phosphore par les matériaux choisis ainsi que les mécanismes d'enlèvement impliqués.

Les objectifs spécifiques étaient:

1. Caractériser la performance des matériaux préalablement testés par des analyses minéralogiques et chimiques.
2. Mesurer l'évolution dans le temps de la concentration en phosphore des effluents de chacune des colonnes.
3. Effectuer des bilans ioniques des effluents des colonnes.
4. Évaluer la contribution des divers mécanismes d'enlèvement du phosphore à l'aide d'analyses minéralogiques des agrégats après démontage des colonnes.

5.2 Caractérisation des matériaux

5.2.1 Description des matériaux choisis

Les matériaux testés en colonnes ont été sélectionnés selon:

- leur coefficient d'enlèvement du phosphore déterminé à l'aide d'essais en flacons pour une concentration en phosphore de 1 mg P/L (voir section 4.5);
- leurs caractéristiques physiques;
- leurs coûts d'utilisation.

Les matériaux choisis pour les essais en colonnes sont la serpentine 1/8" et les scories d'acier 2,5-10 mm. Ces matériaux ont été utilisés soit seuls soit mélangés à du calcaire 2,5-10 mm riche en calcite afin de déterminer si ce dernier favorise la précipitation du

phosphore sous une forme plus stable. Un gravier d'origine granitique a été choisi comme témoin puisque ses composants sont supposés inertes chimiquement au phosphore. Les matériaux sont présentés à la figure 5.1.

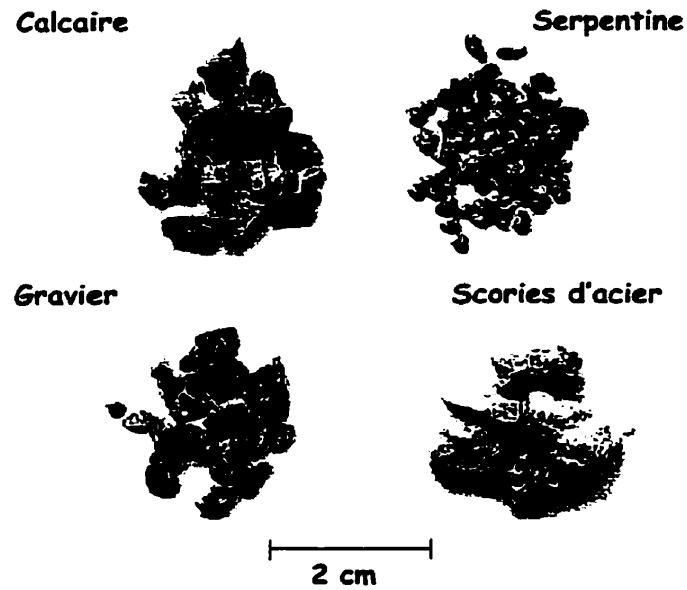


Figure 5.1 : Matériaux testés en colonnes

A) Scories d'acier

La scorie d'aciérie est le sous-produit non métallique obtenu lors de la fabrication de l'acier. Il existe trois types de scories d'acier qui se différencient par le procédé utilisé lors de la fabrication de l'acier ou du fer: la scorie BF (blast furnace), la scorie BOF (basic oxygen furnace) et la scorie EAF (electric arc furnace). La scorie BF est principalement composée de silice et d'oxydes d'aluminium et de fer provenant du minerai. À ces composés sont ajoutés des oxydes de calcium et de magnésium provenant des additifs nécessaires à la fabrication de l'acier. La composition des scories BOF et EAF est sensiblement la même que celle des scories BF, mais ces dernières sont plus riches en fer et en manganèse (Proctor *et al.*, 2000).

La scorie est recueillie dans l'aciérie et déchargée sur des aires de stockage pour être refroidie. Une fois refroidie, elle subit une séparation magnétique afin de récupérer les

particules contenant de l'acier. Les scories ayant une valeur économique sont recyclées à l'aciérie alors que les autres sont tamisées et concassées au besoin afin d'obtenir un granulat conforme aux spécifications désirées.

Le procédé EAF modifié, où l'acier est fabriqué dans les fours à arc électrique à partir de minerai et de ferraille, produit aussi de la scorie. Seule la compagnie Ispatt-Sidbec, située à Contrecoeur, utilise ce procédé en Amérique du Nord (Piché, 2000). Les scories d'acier testées dans cette étude ont une granulométrie de 2,5 à 10 mm et nous ont été fournies par la compagnie Heckett qui gère la scorie produite à l'usine Ispatt-Sidbec.

B) Serpentine

La serpentine est un minéral qui appartient à la famille des phyllosilicates. C'est un silicate hydraté de magnésie ($Mg_6[Si_4O_{10}(OH)_2](OH)_6$) où le magnésium peut parfois être remplacé par du fer. La serpentine provient de l'altération et/ou du métamorphisme de divers minéraux magnésiens, par exemple l'olivine et certains pyroxènes des roches magmatiques basiques ou ultrabasiques. Elle se retrouve sous plusieurs formes, allant de fibreuse à massive (Foucault et Raoult, 1988). La partie fibreuse se nomme chrysotile et elle est exploitée. La serpentine testée dans cette étude constitue le stérile (partie massive) de la mine Bell située à Thetford Mines et a une granulométrie de 1/8".

C) Calcaire

Les calcaires sont des carbonates contenant principalement de la calcite ($CaCO_3$) et pouvant être accompagnée d'un peu de dolomite, d'aragonite et de sidérite. Les calcaires sont de faible dureté et font effervescence à froid sous l'action d'un acide dilué. L'origine des roches calcaires peut être chimique (précipitation), organique (coraux, bryozoaires, algues), détritique (certains calcaires massifs ou lithographiques) ou enfin mixte. Dans la plupart des cas, ils tirent leur origine de l'accumulation de squelettes ou de coquilles calcaires (Foucault et Raoult, 1988). Le calcaire testé dans cette étude provient de la carrière de Ste-Justine-de-Newton (Désourdy).

D) Gravier

Le gravier est un matériau dont les particules ont un diamètre variant de 1 ou 2 mm à 15 ou 30 mm selon la classification utilisée. Il existe plusieurs types de gravier définis en fonction de leur composition et de leur origine. Le gravier utilisé dans cette étude est d'origine granitique. Il provient de la carrière Sables L.G., située à New Glasgow.

5.2.2 Analyses minéralogiques

Des analyses minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX) ont été effectuées pour les quatre matériaux testés en colonnes. Ces essais qualitatifs ont permis d'établir l'abondance relative des principaux minéraux présents dans les matériaux (tableau 5.1). La limite de détection de cette méthode est relativement élevée et les minéraux représentant moins de 2% du poids total du matériau ne peuvent être détectés. Géoberex Recherche a effectué les travaux et le rapport produit par la firme est fourni intégralement à l'annexe 4.

Tableau 5.1 : Caractérisation minéralogique des matériaux testés

Minéral	Scories d'acier*	Serpentine	Calcaire	Gravier
Quartz (SiO_2)	n.d.	n.d.	Tr	A
Feldspaths ($(Na, K)Si_3AlO_8$)	n.d.	n.d.	Tr	M
Micas**	n.d.	n.d.	?	Tr
Grenat ($Ca_3Al_2(SiO_4)_3$)	n.d.	n.d.	n.d.	Tr
Clinopyroxène**	n.d.	n.d.	n.d.	F
Épidote ($OH\ Ca_2\ (AlFe)_3(SiO_4)_3$)	n.d.	n.d.	F	Tr
Calcite ($CaCO_3$)	n.d.	n.d.	M	n.d.
Aragonite ($CaCO_3$)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dolomite ($CaMg(CO_3)_2$)	F	n.d.	A	n.d.
Magnésite ($MgCO_3$)	n.d.	F	n.d.	n.d.
Lizardite ($Mg_6[(OH)_8Si_4O_{10}]$)	n.d.	A	n.d.	n.d.
Magnétite ($Fe^{+2}Fe^{+3}{}_2O_4$)	M	F	n.d.	Tr
Maghémite (Fe_2O_3)	F	n.d.	n.d.	n.d.
Chlorapatite ($Ca_5(PO_4)_3Cl$)	?	n.d.	n.d.	n.d.

Légende: A: abondant (30 à 50%), M: modéré (10 à 30%), F: faible (< 5%), Tr: trace, n.d.: non détecté
Notes: * Concentrations calculées
** Il existe plusieurs variétés et il est donc difficile de déterminer une formule chimique générale.

Les scories d'acier contiennent une proportion importante de matière isotrope et amorphe qui ne peut être diffractée aux rayons X. Les principaux minéraux identifiés par DRX sont la magnétite, la maghémite et la dolomite qui représentent des proportions faibles à modérées de l'échantillon. Des analyses chimiques de roche totale sont réalisées pour déterminer les constituants majeurs de la partie amorphe des scories d'acier.

La serpentine est principalement constituée de lizardite qui représente une variété massive de cette dernière. La serpentine sous forme fibreuse (chrysotile) est aussi présente, mais en quantité beaucoup plus faible.

La calcite et la dolomite sont les minéraux les plus importants dans le calcaire et c'est pourquoi il réagit fortement à l'acide chlorhydrique (HCl). Le rôle de ce calcaire riche en calcite dans les essais en colonnes était de vérifier si la présence de calcium dans les matériaux favorise la précipitation du phosphore. La précipitation du phosphore est privilégiée aux autres mécanismes d'enlèvement puisqu'elle permet d'immobiliser celui-ci de façon plus stable à long terme.

Le gravier est composé de fragments de roches de nature granitique à dioritique et de gneiss charnockitique. Les principaux minéraux identifiés sont le quartz et les feldspaths. Ces minéraux sont censés être chimiquement inertes au phosphore dissous et c'est pourquoi ce gravier a été choisi comme témoin.

5.2.3 Analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques des matériaux testés sont fournis au tableau 5.2. Ces analyses de roche totale ont été effectuées par la compagnie COREM, située à Québec. Les oxydes principaux ont été analysés et la somme des concentrations est tout près de 100% pour les quatre matériaux. L'écart entre la somme des composés et 100% peut être le résultat de l'imprécision de l'analyse, comme c'est le cas pour le gravier où le total est de 100,3%. Il peut également indiquer que certains éléments traces présents dans les matériaux n'ont pas été analysés.

Tableau 5.2 : Analyses chimiques des matériaux testés

Oxydes	Scories d'acier	Serpentine	Calcaire	Gravier
SiO_2	13,7	41,2	6,83	64,8
Al_2O_3	4,67	1,80	1,53	15,2
Fe_2O_3	34,7	7,15	0,82	5,92
MgO	13,1	36,0	18,0	0,88
CaO	30,4	0,50	29,0	3,99
Na_2O	< 0,01	0,33	< 0,10	3,43
K_2O	< 0,01	0,34	0,90	4,06
TiO_2	0,68	0,03	0,07	1,03
MnO	1,30	0,10	0,07	0,10
P_2O_5	0,32	< 0,01	0,03	0,31
Cr_2O_3	0,32	0,36	< 0,01	< 0,01
PAF	-	11,9	42,1	0,60
Total	**99,2**	**99,7**	**99,4**	**100,3**

Tel qu'anticipé, les scories d'acier sont riches en fer et en calcium. À des pH plus élevés que la neutralité, la formation d'hydroxydes de fer est favorisée et les orthyophosphates peuvent alors être adsorbés spécifiquement sur ceux-ci. À ces mêmes pH, la précipitation du phosphore peut aussi être envisagée à cause de la présence d'une grande concentration en calcium dans les scories d'acier.

Le principal élément réactif de la serpentine est l'oxyde de magnésium. Tout comme les oxydes de fer, les oxydes de magnésium contribuent à l'adsorption spécifique des orthophosphates à des pH plus élevés que la neutralité.

Les deux principaux constituants du calcaire sont le calcium et le magnésium. Ces éléments contribuent à l'enlèvement du phosphore dissous par des mécanismes d'adsorption et de précipitation. Ce calcaire a été choisi et mélangé aux scories d'acier et à la serpentine essentiellement pour favoriser la précipitation du phosphore à long terme.

Le gravier est composé essentiellement de silice qui est un élément inerte au phosphore. Des éléments réactifs (Al, Fe et Ca) sont également présents dans le gravier, mais avec des concentrations assez faibles. Ces éléments peuvent contribuer à l'enlèvement du phosphore dissous s'ils sont accessibles et le matériau témoin n'est probablement pas totalement inerte.

5.3 Matériel et méthodes

5.3.1 Montage expérimental

Le montage était constitué de 10 colonnes où 5 matériaux ou mélanges de matériaux étaient testés en duplicata :

1. 100% poids serpentine : colonnes A1 et A2
2. 47% poids serpentine et 53% poids calcaire : colonnes B1 et B2
3. 100% poids scories d'acier : colonnes C1 et C2
4. 79% poids scories d'acier et 21% poids calcaire : colonnes D1 et D2
5. 100% poids gravier : colonnes F1 et F2

Étant donné que l'enlèvement du phosphore est principalement un phénomène de surface, les % poids des mélanges ont été établis de façon à obtenir 50% de surface spécifique pour chacun des matériaux. Si les mécanismes d'enlèvement ainsi que leur cinétique étaient bien définis, les % de surface spécifique pourraient alors être déterminés de façon à rendre l'enlèvement optimal. Étant donné que ce n'est pas le cas, le 50% de surface spécifique a été choisi arbitrairement.

Chaque colonne était munie d'une base, de deux brides, d'un tube, d'une plaque de recouvrement et de deux valves (figure 5.2). Une rondelle de plastique trouée a d'abord été placée dans la colonne suivie d'un géotextile afin de bien distribuer l'eau et d'éviter le lessivage des fines. Le matériau testé a ensuite été placé dans la colonne par couches de 4 à 5 cm d'épaisseur afin d'obtenir un échantillon homogène. Chacune des couches a été légèrement pilonnée pour niveler la surface. Un géotextile et une rondelle de plastique ont à nouveau été placés sur le matériau et la colonne a finalement été fermée de façon étanche avec la plaque de recouvrement. L'échantillon a été saturé sous vide avec un écoulement du bas vers le haut pour minimiser l'emprisonnement de bulles d'air.

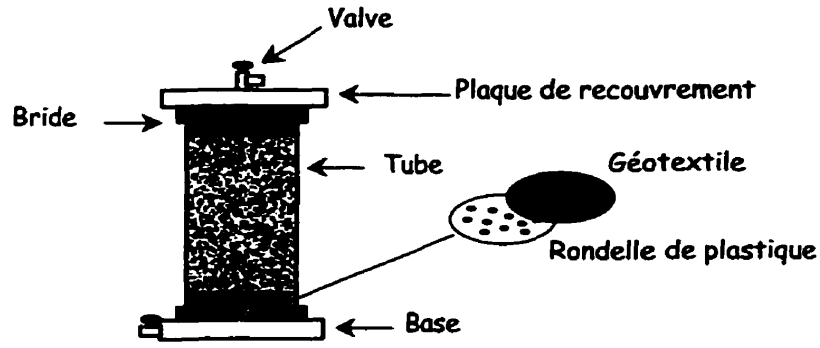


Figure 5.2 : Montage d'une colonne

Chaque colonne était alimentée par gravité avec un réservoir rempli d'une solution de 20 mg P/L (KH_2PO_4). L'écoulement se faisait du haut vers le bas et l'échantillon était maintenu saturé en positionnant la sortie d'eau en haut de l'échantillon (figure 5.3). L'effluent était recueilli dans un seau recouvert en permanence afin de limiter l'effet de l'évaporation. Le temps de séjour hydraulique visé était de 24 heures.

Des concentrations de l'ordre de celles retrouvées dans les effluents piscicoles, soit 0,3 mg P/L, n'ont pas été choisies pour les essais puisqu'il semble irréaliste, pour l'instant, de traiter tout l'effluent à l'aide de marais artificiels. Le traitement de boues de décantation, d'eaux de lavage d'un microtamis ou encore de surnageant de silos de décantation semblent des solutions plus viables pour réduire la masse de phosphore rejetée quotidiennement dans les cours d'eau par les piscicultures. Une concentration de 20 mg P/L a été choisie afin de représenter les concentrations en phosphore des effluents qui seraient traités par les marais artificiels.

Les colonnes de scories d'acier (C1 et C2), de scories d'acier - calcaire (D1 et D2) et de gravier (F1 et F2) ont été alimentées durant une période de 124 jours. Les colonnes de serpentine (A1 et A2) et de serpentine - calcaire (B1 et B2) ont été alimentées pour une période plus courte, soit 58 jours, dû à des problèmes de logistique.

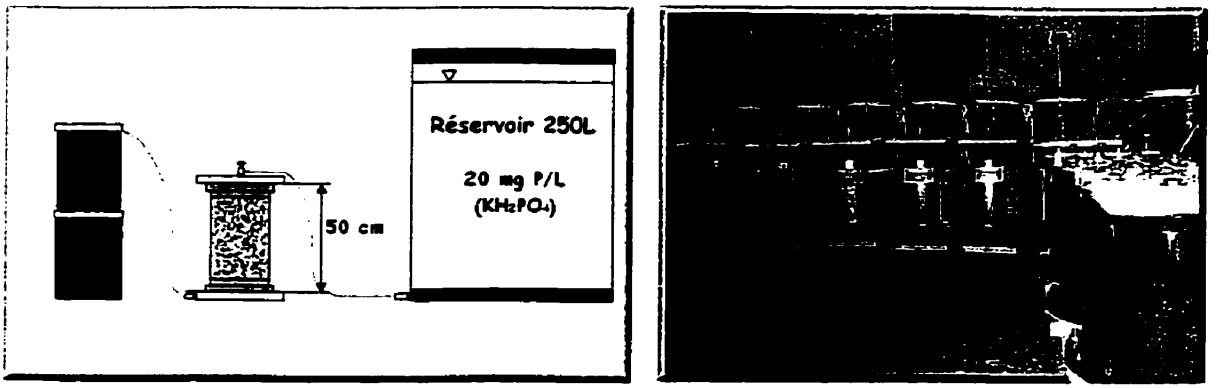


Figure 5.3 : Montage expérimental

Une autre série d'essais a été effectuée avec les mêmes conditions expérimentales, mais avec une concentration de la solution initiale beaucoup plus élevée (400 mg P/L). Les essais ont été faits avec un échantillon de chacun des matériaux et pour une période de 56 jours. L'objectif de ces essais était de déterminer la capacité maximale d'enlèvement du phosphore pour chacun des matériaux ou mélanges de matériaux testés.

5.3.2 Suivi expérimental

Les volumes d'eau sortant étaient pesés environ une fois par jour et les débits ajustés au même moment. Les effluents de chacune des colonnes ainsi que la solution initiale étaient échantillonnés environ deux fois par semaine. Les analyses de routine étaient la conductivité, le potentiel d'oxydo-réduction, le pH, l'alcalinité et la concentration en phosphore. La concentration en calcium des effluents a aussi été déterminée à quelques reprises.

Pour les bilans ioniques, des analyses supplémentaires ont été effectuées, soit Na, Mg, K, SO_4 et Cl. Certains métaux ont été contrôlés afin de s'assurer que les matériaux testés ne détérioraient pas la qualité de l'effluent. Ces métaux sont : Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn.

Vers la fin de la deuxième série d'essais (C_o = 400 mg P/L), seule la concentration en phosphore était mesurée et les autres analyses de routine n'étaient plus effectuées afin de réduire le temps alloué au travail de laboratoire. Cette décision se justifie par l'objectif de la deuxième série d'essais qui était de déterminer la capacité maximale d'enlèvement du phosphore et non les mécanismes d'enlèvement.

5.3.3 Démontage des colonnes

À la fin de la première série d'essais (C_o = 20 mg P/L), les duplicata de chacune des colonnes (A2, B2, C2, D2 et F2) ont été démontés et des échantillons solides ont été prélevés à tous les 5 cm. Les grains de scories d'acier dans les colonnes C2 et D2 étaient couverts d'un précipité blanc dans la partie supérieure des colonnes (figure 5.4). Le précipité blanc a été gratté de la surface des grains afin d'identifier sa structure cristalline par diffraction des rayons X. Des échantillons ont aussi été prélevés à environ tous les 10 cm des colonnes afin d'effectuer des analyses granulométriques et de vérifier la stabilité mécanique interne des matériaux.

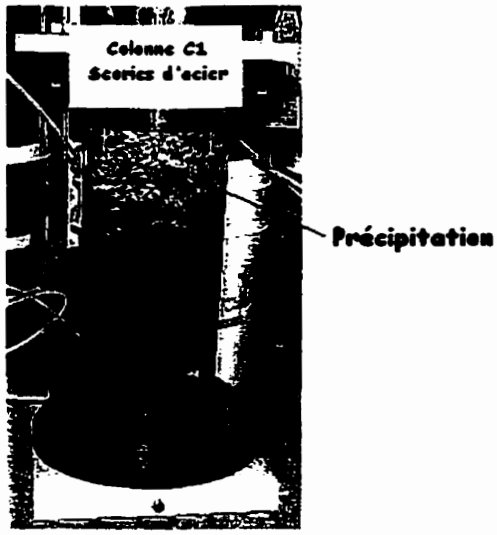


Figure 5.4 : Précipitation dans les colonnes contenant de la scorie d'acier

5.4 Résultats

5.4.1 La performance d'enlèvement du phosphore

L'efficacité d'enlèvement du phosphore par la serpentine et par le mélange serpentine – calcaire est présentée à la figure 5.5. Les résultats sont d'abord présentés en fonction du temps (figure 5.5a) et ensuite en fonction du nombre de volumes de pores (figure 5.5b). Étant donné que la cinétique de chacun des mécanismes impliqués dans l'enlèvement du phosphore n'est pas bien connue, il n'est pas possible d'imposer un modèle mathématique aux données obtenues. Des courbes lissées sur 3 points ont donc été tracées afin de mettre en évidence leur tendance.

Pour la première série d'essai (C_o = 20 mg P/L), les deux graphiques sont relativement semblables pour les colonnes A et B étant donné que le débit visé était d'un volume de pores par jour. Pour la deuxième série d'essais (C_o = 400 mg P/L), des problèmes de colmatage sont survenus pour la colonne A1 et la forme de la courbe varie selon si elle est tracée en fonction du temps ou du nombre de volumes de pores.

Une variation de débit influence de façon proportionnelle la pente de la courbe si celle-ci est tracée en fonction du temps. Une augmentation de débit augmentera la pente de la courbe alors qu'une diminution de débit diminuera la pente de la courbe. Il semble plus convenable de présenter les données en fonction du nombre de volumes de pores où l'allure de la courbe devient indépendante du débit et plus représentative de la cinétique des mécanismes d'enlèvement. Par exemple, les courbes B1 et B2, qui représentent toutes les deux le mélange serpentine - calcaire, se rapprochent lorsqu'elles sont tracées en fonction du nombre de volumes de pores, éliminant ainsi l'influence des variations de débit.

Il est à noter qu'une variation de concentration influencera l'allure de la courbe qu'elle soit tracée en fonction du temps ou du nombre de volumes de pores. L'augmentation de la concentration après 58 jours d'essais a haussé ponctuellement l'efficacité de la

serpentine (colonne A1), du mélange serpentine - calcaire (colonne B1) et du témoin (colonne F1). Par la suite, la diminution de l'efficacité semble tendre vers une réaction du premier ordre, sauf la colonne A1 où le temps de rétention était beaucoup plus élevé dû à des problèmes de colmatage. Le taux d'enlèvement du phosphore serait donc influencé par la concentration de la solution initiale, ce qui avait été également conclu lors de l'interprétation des résultats des essais en flacons (section 4.3.3).

La serpentine s'est montrée très efficace durant les 40 premiers jours d'essais avec des taux d'enlèvement du phosphore supérieurs à 95%. L'efficacité s'est ensuite mise à diminuer de façon plus ou moins linéaire et était de 40% à la fin de la période d'essais. Le mélange serpentine-calcaire a obtenu des performances aussi élevées que la serpentine seule durant les 30 premiers jours d'essais. Par la suite, l'efficacité a diminué et était d'environ 15% à la fin de la période d'essais. Contrairement à l'hypothèse posée, le mélange du calcaire avec la serpentine n'a pas augmenté la performance du matériau.

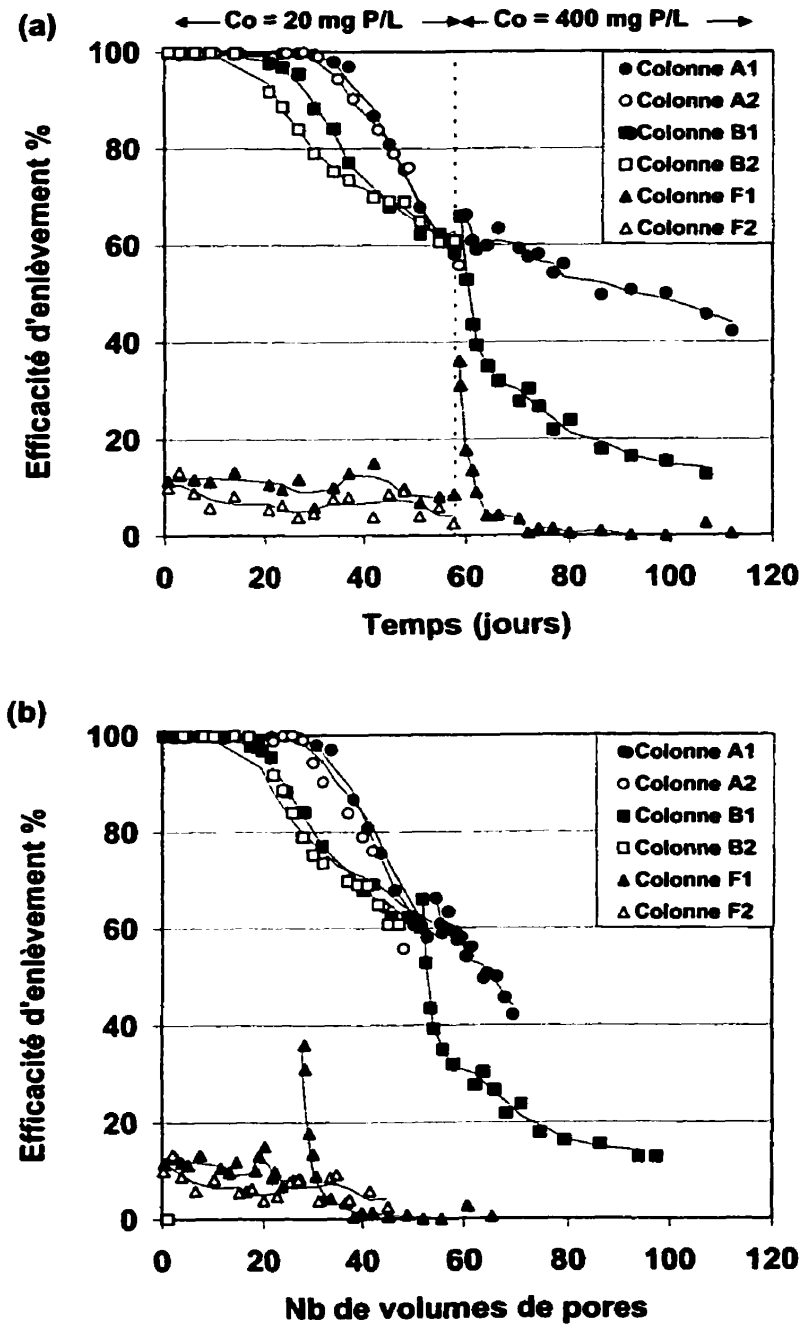


Figure 5.5 : Efficacité d'enlèvement du P par les matériaux à base de serpentine. (a) en fonction du temps, (b) en fonction du nb de volumes de pores. Colonnes A1 et A2: serpentine, colonnes B1 et B2: serpentine - calcaire, colonnes F1 et F2: gravier. Les courbes ont été lissés sur 3 points.

L'efficacité d'enlèvement du phosphore par la scorie d'acier et par le mélange scorie d'acier – calcaire est présentée en fonction du temps et du nombre de volumes de pores à la figure 5.6. Lors de la première série d'essais, les graphiques des colonnes C et D sont semblables étant donné qu'il n'y a eu aucun problème de colmatage et parce que les taux d'enlèvement étaient d'environ 100%. Pour la deuxième série d'essais, les deux colonnes ont subi des problèmes de colmatage et la façon de présenter les données devient plus importante. Il est préférable, encore une fois, de montrer les résultats en fonction du nombre de volumes de pores afin d'obtenir une courbe plus représentative des phénomènes observés.

L'efficacité d'enlèvement du phosphore par le gravier s'est maintenu à environ 10% tout au long de la première période d'essais pour ensuite diminuer jusqu'à une efficacité presque nulle, sauf pour deux moments où l'efficacité a augmenté ponctuellement. Le premier pic observé pour le gravier s'explique par une augmentation du temps de rétention alors que le deuxième, par une augmentation de la concentration.

La scorie d'acier ainsi que le mélange scorie - calcaire se sont montrés très performants tout au long de la première série d'essais avec des taux d'enlèvement de près de 100%. L'augmentation de la concentration initiale de 20 à 400 mg P/L a diminué l'efficacité d'enlèvement à 80% en 15 jours. À partir de ce moment, des problèmes de colmatage sont survenus pour les colonnes C1 et D1, probablement à cause de la formation de précipités dans les valves à la sortie des colonnes. Ces problèmes de débits augmentaient considérablement le temps de rétention hydraulique parfois même jusqu'à plusieurs jours. Cette augmentation du temps de rétention hydraulique semble avoir favorisé l'enlèvement du phosphore puisque l'efficacité d'enlèvement était à nouveau près de 100% à la fin de l'essai. Le taux d'enlèvement du P serait donc influencé non seulement par la concentration initiale en P, mais également par le temps de rétention hydraulique, particulièrement lorsqu'il s'agit de précipitation.

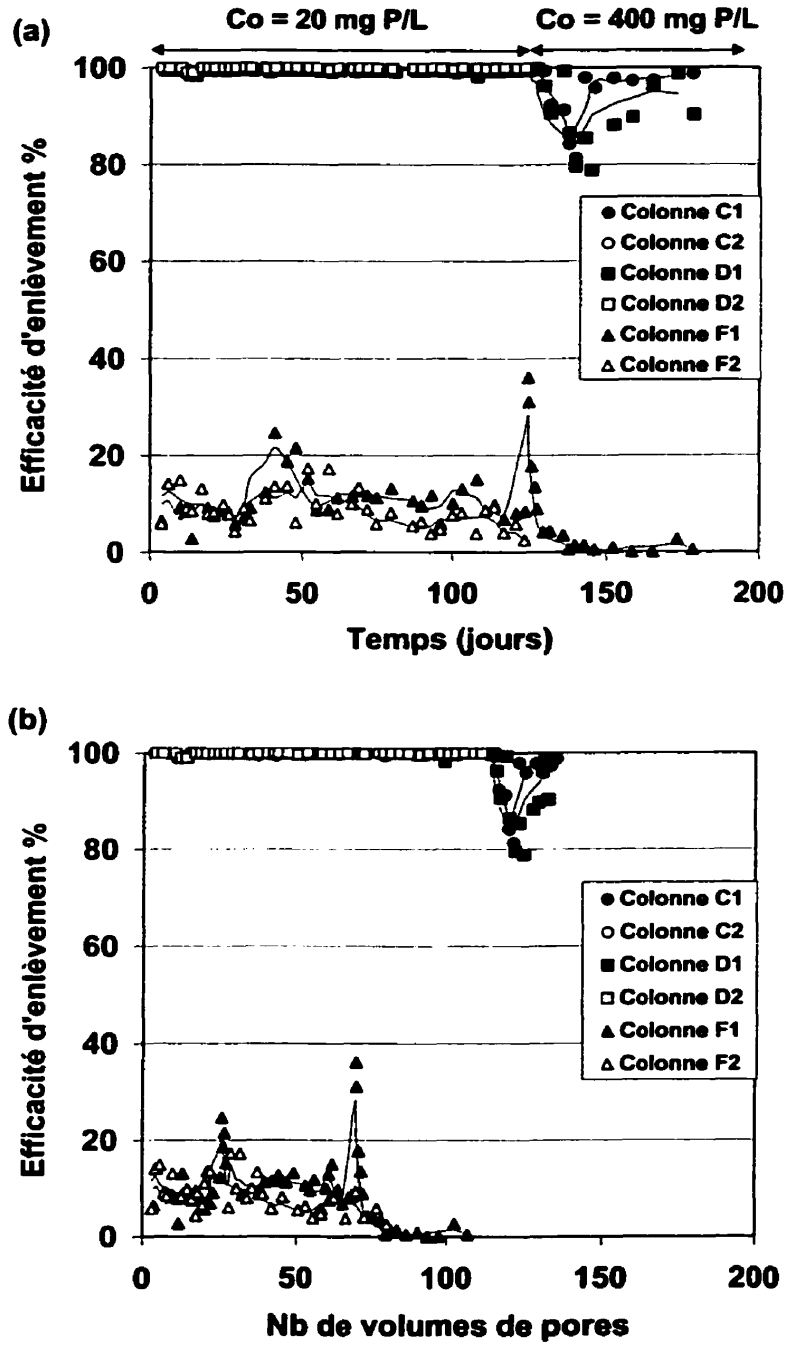


Figure 5.6 : Efficacité d'enlèvement du P par les matériaux à base de scories d'acier. (a) en fonction du temps, (b) en fonction du nb de volumes de pores. Colonnes C1 et C2: scories d'acier, colonnes D1 et D2: scories d'acier + calcaire, colonnes F1 et F2: gravier.. Les courbes ont été lissées sur 3 points.

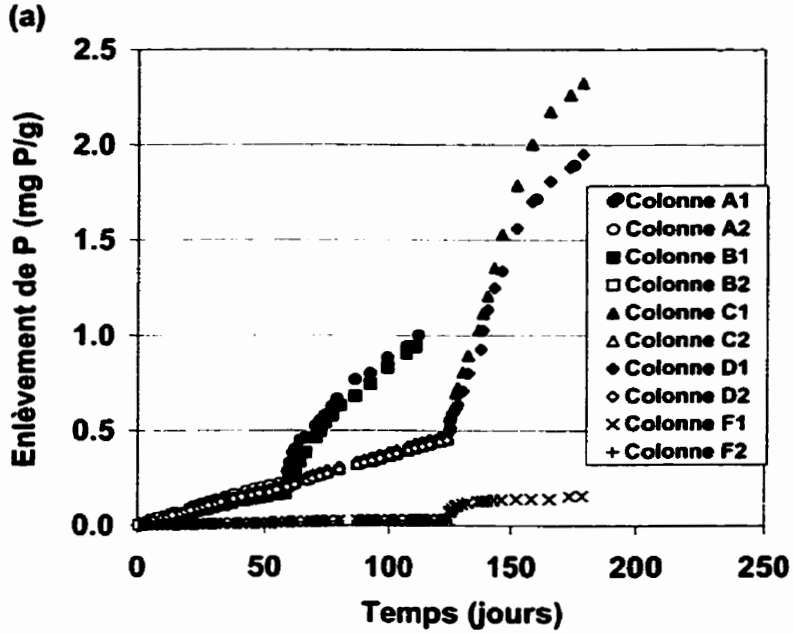
5.4.2 Capacité d'enlèvement du phosphore par les matériaux

La capacité d'enlèvement du phosphore par les matériaux est une des caractéristiques des plus recherchées. Elle permet de déterminer la masse de phosphore totale que le matériau peut enlever et donc d'évaluer la longévité d'un système à pleine échelle. Très peu d'études en colonnes ont permis jusqu'à maintenant de définir le maximum d'enlèvement du phosphore par les matériaux testés. Ceci est généralement dû à des périodes d'essais trop courtes.

L'objectif premier de cette étude n'était pas de déterminer les maxima d'enlèvement des matériaux, mais plutôt leur efficacité d'enlèvement. L'utilisation de matériaux très efficaces, c'est-à-dire ayant un taux d'enlèvement près de 100%, est essentielle dans les systèmes de traitement des effluents piscicoles. Il est en effet important que l'effluent du système de traitement respecte les concentrations en phosphore qui seront proposées dans la nouvelle directive sur les exigences de rejet en phosphore.

Étant donné que l'efficacité d'enlèvement du phosphore par les scories d'acier était près de 100% même après 124 jours d'essais, la concentration en phosphore de la solution initiale a été augmentée de 20 fois, soit de 20 à 400 mg P/L. Le moment où la concentration initiale en phosphore a été augmentée est perceptible par un changement abrupte de la pente de chacune des courbes. Cette deuxième série d'essais avait maintenant pour objectif d'essayer de saturer en phosphore les systèmes pour ainsi définir leurs limites. Les résultats d'enlèvement sont présentés en fonction du temps et du nombre de volumes de pores à la figure 5.7.

Aucun des matériaux n'a atteint la saturation en phosphore, excepté le gravier qui jouait le rôle de témoin. Les essais ont dû se terminer à cause d'un manque de temps. Par contre, on peut supposer que tous les matériaux se rapprochaient du maximum d'enlèvement lorsqu'on observe les courbes tracées en fonction du temps (figure 5.7a). Si toutefois l'enlèvement du phosphore est tracé en fonction du nombre de volumes de pores, l'allure des courbes est différente (figure 5.7b). Seul le matériau de la colonne B1 (serpentine et calcaire) semble maintenant se rapprocher d'un maximum d'enlèvement.



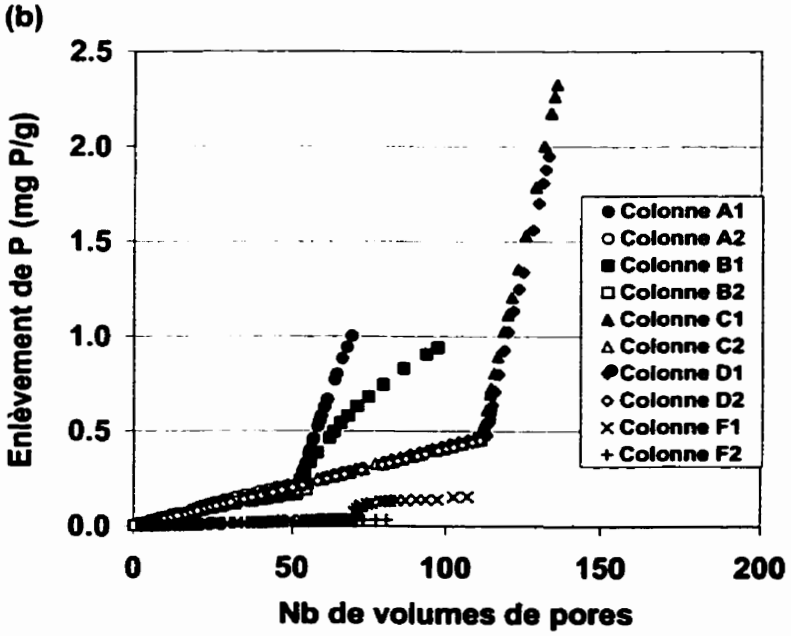


Figure 5.7 : Capacité d'enlèvement du P. (a) en fonction du temps, (b) en fonction du nb de volumes de pores. Colonnes A1 et A2: serpentine, colonnes B1 et B2: serpentine + calcaire, colonnes C1 et C2: scories d'acier, colonnes D1 et D2: scories d'acier + calcaire, colonnes F1 et F2: gravier (témoin)

Les autres courbes montrent plutôt une relation linéaire et n'indiquent en aucun temps la présence d'un plateau. La différence dans la forme des courbes des figures 5.7 a et b s'explique par la variation des débits causée par le colmatage et la formation de précipités dans les valves. Le fait de présenter les données en fonction du nombre de volumes de pores élimine l'influence de la variation de débits et permet de faire une interprétation des résultats plus exacte.

Durant les essais en colonnes, la serpentine et le mélange serpentine – calcaire ont enlevé environ 1 mg P/g alors que les scories d'acier et le mélange scories d'acier – calcaire ont enlevé respectivement 2,3 et 2,0 mg P/g. Les résultats ne peuvent toutefois pas être comparés puisque le nombre de volumes de pores n'est pas le même pour tous les matériaux à la fin de l'essai. Par conséquent, la masse de phosphore ajoutée n'est pas la même pour chacune des colonnes. C'est pourquoi il est intéressant de présenter les résultats sous forme de bilans massiques où il est alors possible de comparer les masses de phosphore enlevées pour une même masse de phosphore ajoutée.

5.4.3 Enlèvement massique

L'enlèvement massique est une autre façon de présenter les résultats. Il s'agit de présenter la masse de phosphore ajoutée ainsi que celle enlevée en fonction du temps ou du nombre de volumes de pores. Étant donné que les variations de débit influencent la forme de la courbe lorsque cette dernière est tracée en fonction du temps, les graphiques ont été faits seulement en fonction du nombre de volumes de pores (figure 5.8).

L'enlèvement massique permet de combiner les deux notions vues dans les sections précédentes, soit l'efficacité et la capacité d'enlèvement. La capacité d'enlèvement par le matériau est directement obtenue du graphique alors que l'efficacité d'enlèvement peut être estimée en comparant les masses de phosphore ajoutée et enlevée. Si les masses sont semblables pour un nombre de volumes de pores donné, l'efficacité d'enlèvement est très élevée. Par contre, si les masses pour ce même nombre de volumes de pores sont très différentes, alors l'efficacité d'enlèvement est probablement assez faible (figure 5.8).

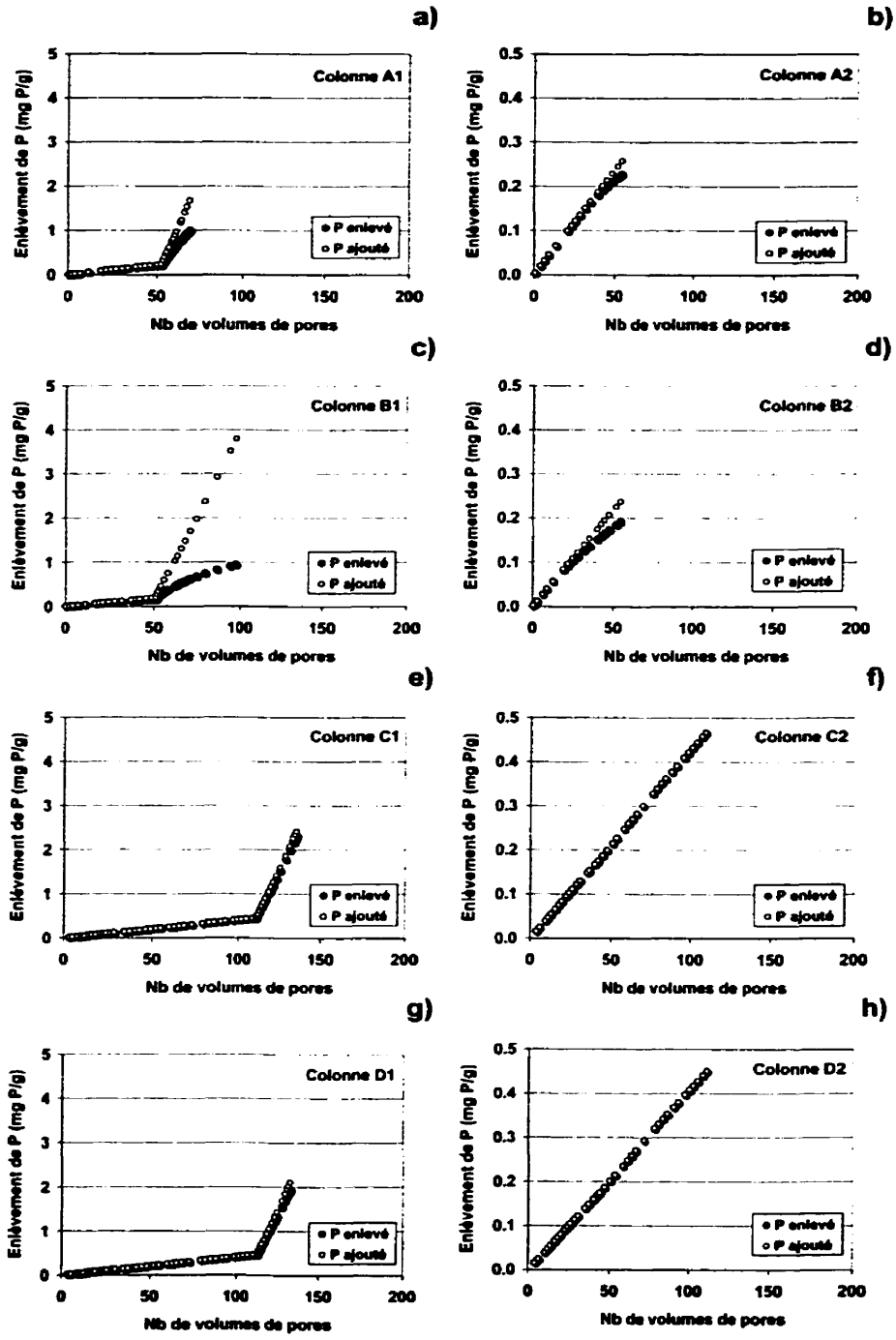


Figure 5.8 : Enlèvement massique (en fonction du nombre de volumes de pores). Colonnes A1 et A2: serpentine, colonnes B1 et B2: serpentine + calcaire, colonnes C1 et C2: scories d'acier, colonnes D1 et D2: scories d'acier + calcaire, colonnes F1 et F2: gravier

Une façon plus pratique de comparer l'efficacité des matériaux est de présenter les valeurs de P enlevé (mg P/g) en fonction de celles de P ajouté (mg P/g) (figure 5.9). Les différentes courbes peuvent facilement être comparées entre elles ainsi qu'avec une droite représentant un système dont l'efficacité d'enlèvement est de 100%. Il est aussi possible de rapidement déterminer l'efficacité de chacun des matériaux en fonction de "l'âge" du système, c'est-à-dire de la masse de P ajouté.

Les matériaux à base de scories d'acier sont très efficaces et leurs courbes longent la droite représentant une efficacité de 100%. Les matériaux à base de serpentine se sont montrés moins performants et c'est pourquoi leur courbe s'éloigne du rendement de 100% au fur et à mesure qu'on ajoute du phosphore.

L'ajout de calcaire aux scories d'acier n'a apporté aucune différence quant à l'efficacité d'enlèvement, probablement parce que les scories d'acier contiennent suffisamment de calcium provenant de la chaux ajoutée lors de la fabrication de l'acier. L'ajout de calcaire à la serpentine n'a pas amélioré la performance du matériau et a même diminué celle-ci. La différence de performance entre les colonnes A1 et B1 peut être comparée à la proportion des matériaux dans chacune des deux colonnes afin d'évaluer la contribution de chacun d'eux. Par exemple, pour une masse d'environ 1,7 mg P/g ajoutée, les masses de P enlevé pour les colonnes A1 et B1 sont respectivement de 1 et 0,6 mg P/g. Au fur et à mesure qu'on ajoute du phosphore, le rapport des deux masses se rapproche du rapport de surface spécifique (S_s) de serpentine comprise dans chacune des colonnes, soit 100% S_s serpentine dans la colonne A1 et 50% S_s de serpentine dans la colonne B1. La contribution du calcaire à l'enlèvement du phosphore est donc assez faible.

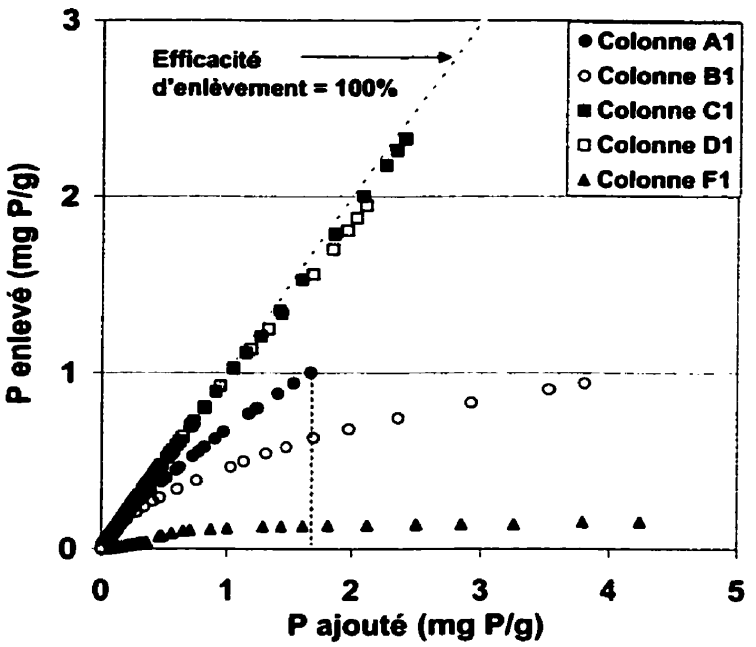


Figure 5.9 : Comparaison de l'efficacité des matériaux. Colonne A1: serpentine; colonne B1: serpentine - calcaire; colonne C1: scories d'acier; colonne D1: scories d'acier - calcaire et F1: gravier.

5.4.4 Bilans ioniques

Les bilans ioniques ont été effectués avec les ions majeurs, soit: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, SO_4^{2-} et Cl^{-}. Les concentrations en orthophosphates ont évidemment aussi été considérées ainsi que celles en hydroxydes puisque le pH des effluents est particulièrement élevé.

Les bilans ioniques des effluents ont tout d'abord été effectués pour les colonnes C, D et F. Les résultats obtenus pour les colonnes C et D n'étaient pas satisfaisants avec des erreurs variant de 8 à 40%. Un exemple est présenté à la figure 5.10a et tous les bilans ioniques effectués au cours de l'étude sont fournis à l'annexe 7. En observant les bilans ioniques obtenus, on remarque que seule la concentration en calcium varie beaucoup d'un échantillon à l'autre. Le graphique de la concentration en calcium en fonction du temps confirme cette variation pour les colonnes C et D (figure 5.11).

La variation en calcium pourrait s'expliquer par une erreur d'échantillonnage. Les échantillons sont prélevés à l'aide de béchers directement à la sortie de chaque colonne. Étant donné que les débits sont assez faibles, de l'ordre de 2,7 cm^3/min, les échantillons sont exposés à l'air libre de 30 à 60 minutes selon le volume à prélever. Puisque les effluents des colonnes contenant des scories d'acier ont des pH très élevés (11 et plus), leur équilibre chimique est modifié lorsqu'ils arrivent en contact avec l'atmosphère. Il y a dissolution du CO_2 qui s'équilibre selon les constantes d'équilibre avec les composants H_2CO_3, HCO_3 et CO_3. La concentration en CO_3 augmente donc avec le temps d'exposition à l'air libre et il y a précipitation de calcite. Une fois la période d'échantillonnage terminée, les échantillons sont filtrés à l'aide d'un filtre 0,45 µm et ensuite analysés pour le calcium par absorption atomique. Les précipités de calcite sont retenus sur le filtre et la concentration en calcium de l'effluent est donc diminuée. La diminution de la concentration en calcium est proportionnelle au temps d'exposition de l'échantillon à l'air libre.

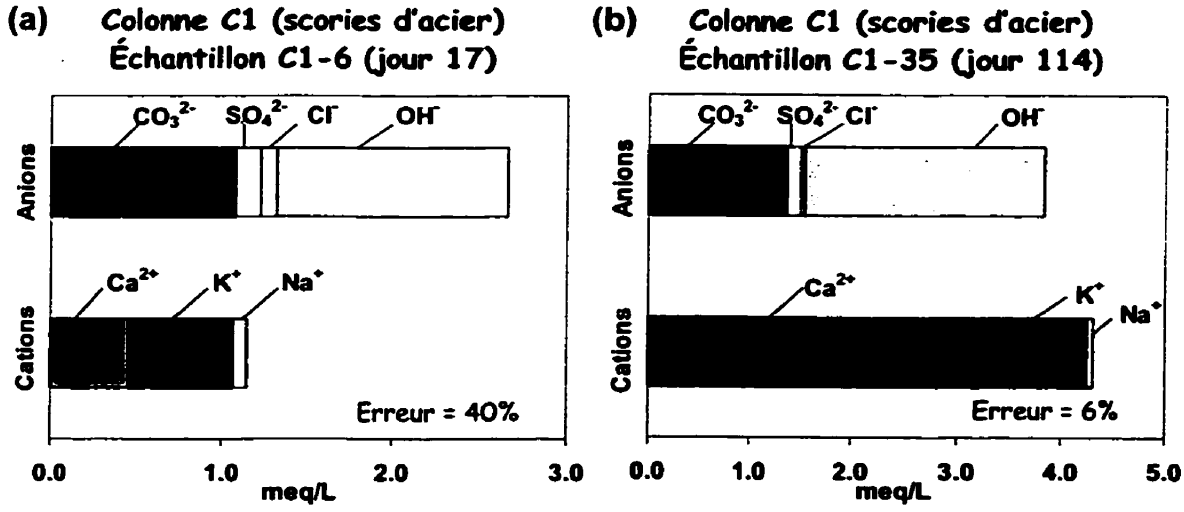


Figure 5.10 : Bilan ionique de l'effluent de la colonne C1 (Scories d'acier) dans un cas de débit lent. (a) échantillon filtré, (b) échantillon non filtré.

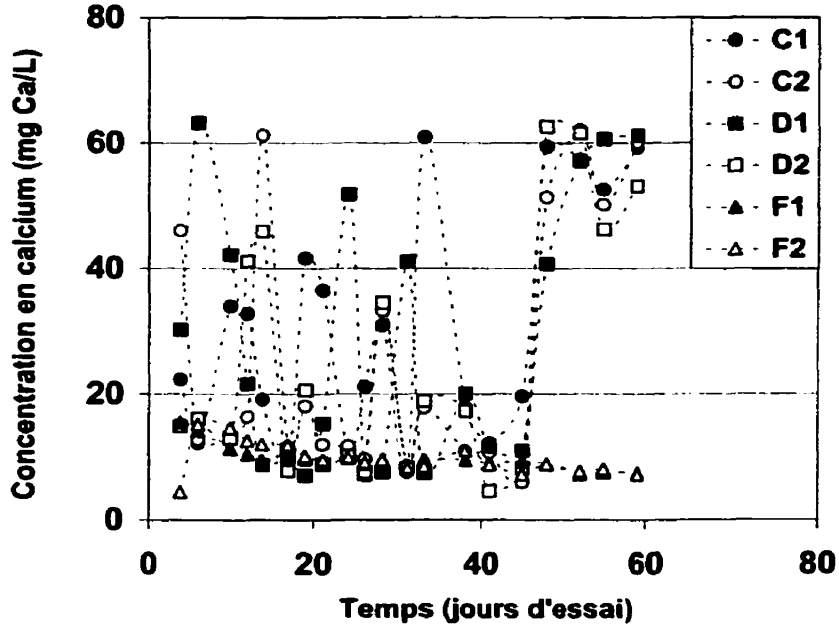


Figure 5.11 : Concentration en calcium des effluents des colonnes C et D dans un cas de débit lent et échantillon filtré.

Par la suite, de petits échantillons (10 mL) ont été prélevés pour les analyses en calcium de façon à limiter le temps de contact avec l'air. De plus, les échantillons n'ont pas été filtrés avant d'être acidifiés, ce qui permettait de mettre en solution les précipités formés lors de l'échantillonnage. Avec cette méthode d'échantillonnage, les concentrations en calcium obtenues étaient plus élevées, de l'ordre de 70 mg Ca/L, et plus constantes. Les bilans ioniques montraient alors des erreurs acceptables, soit environ 5% (figure 5.10b).

5.4.5 Concentrations en métaux

Les concentrations en métaux ont été déterminées par absorption atomique pour chacun des effluents (tableau 5.3). Ces concentrations sont comparées avec les critères d'usage pour les eaux de surface définis par le Ministère de l'Environnement (MEF, 1998). Les concentrations en métaux retrouvées dans les effluents respectent les critères de qualité de l'eau de surface, sauf la concentration en cuivre (Cu) qui est plus élevée que le critère

pour les effluents des colonnes C1 et D2. On remarque toutefois que les concentrations en Cu des effluents du gravier (F1 et F2) sont tout aussi élevées sinon plus. Ce gravier est pourtant utilisé comme matériau de construction. Étant donné que la solution initiale est composée d'eau distillée et de sel de phosphore (KH_2PO_4), le cuivre ne peut provenir de l'effluent synthétique. La source du cuivre ne peut être les valves puisque celles-ci étaient en acier inoxydable. Les concentrations dépassant le critère de qualité de l'eau de surface pour le cuivre ne peuvent être expliquées si ce n'est que par des imprécisions d'analyse.

Le contrôle des concentrations en métaux n'a été effectué qu'une seule fois au cours de la période d'essais afin d'identifier approximativement les paramètres pouvant éventuellement contribuer à la détérioration de la qualité de l'effluent. Il est bien évident qu'une seule analyse n'est pas suffisante pour affirmer que les métaux contenus dans les matériaux, plus particulièrement dans les scories d'acier, ne sont pas mis en solution. Un suivi exhaustif des concentrations en métaux retrouvées dans les effluents est nécessaire pour déterminer si les critères de qualité de l'effluent sont respectés.

Tableau 5.3 : Concentration de certains métaux dans l'effluent des colonnes et critères de qualité d'eau de surface au Québec (mg/L)

Élément	Critère[1]	A1-14	A2-14	B1-14	B2-14	C1-35	C2-35	D1-35	D2-35	F1-35	F2-35
Al	0,75	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0.35	0.26	0.33	0.32	< 0,02	< 0,02
Cd	0,0018[2]	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr	0,200[3]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cu	0,0092	0.004	0.008	0.006	0.008	**0.034**	0.009	0.008	**0.012**	**0.026**	**0.013**
Fe	-	0.008	0.008	0.010	0.005	0.100	0.020	0.020	0.015	0.025	0.028
Mn	-	< 0,005	< 0,005	0.007	< 0,005	0.009	0.008	< 0,005	< 0,005	0.080	0.086
Ni	0,790[2]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Pb	0,034[2]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Zn	0,065[2]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0.020	0.017

Notes [1] Les normes correspondent aux critères d'usage pour les eaux de surface définis par le MENV.
[2] Le critère augmente avec la dureté. La valeur inscrite au tableau correspond à une dureté de 50 mg $CaCO_3$/L (voir "Critères de qualité de l'eau (MEF, 1998).

5.4.6 Mécanismes d'enlèvement

Le principal mécanisme d'enlèvement du phosphore par la serpentine et le mélange serpentine - calcaire semble être l'adsorption et c'est d'ailleurs pourquoi nous n'observons pas de précipités dans ces colonnes. L'adsorption est limitée par le nombre de sites d'adsorption disponibles et il n'a pas encore été démontré que ces sites pouvaient se régénérer. L'efficacité d'enlèvement ne peut que diminuer au fur et à mesure que les sites sont comblés (figure 5.5).

Le principal mécanisme d'enlèvement par la scorie d'acier est la précipitation du phosphore par le calcium provenant des additifs utilisés lors de la fabrication de l'acier. Ceci a été démontré par la présence de précipités blancs à la surface des grains de scorie. Ces précipités ont été échantillonnés et analysés par diffraction des rayons X au laboratoire MC^2 de l'École Polytechnique. Le cliché de diffraction obtenu est présenté à la figure 5.12a. Ce dernier est comparé au cliché de l'hydroxylapatite qui a été retenu par un logiciel traitant les résultats de diffraction comme étant celui ayant le plus de corrélation avec les résultats d'analyse DRX. Étant donné que les intensités n'étaient pas du même ordre, le cliché obtenu a été normalisé à 100% (figure 5.12b). Le cliché normalisé correspond très bien à celui de l'hydroxylapatite et nous pouvons donc affirmer qu'un des principaux mécanismes d'enlèvement du phosphore par les scories d'acier est la précipitation sous forme d'hydroxylapatite.

La précipitation est limitée par les concentrations en phosphore et en calcium et est grandement influencée par le temps de rétention hydraulique. Ayant une cinétique beaucoup plus lente que l'adsorption, la précipitation se produit lorsque les éléments chimiques sont en contact suffisamment longtemps. L'augmentation du temps de rétention hydraulique causée par des problèmes de colmatage a favorisé la croissance des cristaux dans les colonnes C1 et D1 et c'est pourquoi l'efficacité, qui avait baissé, s'est remise à augmenter (figure 5.6).

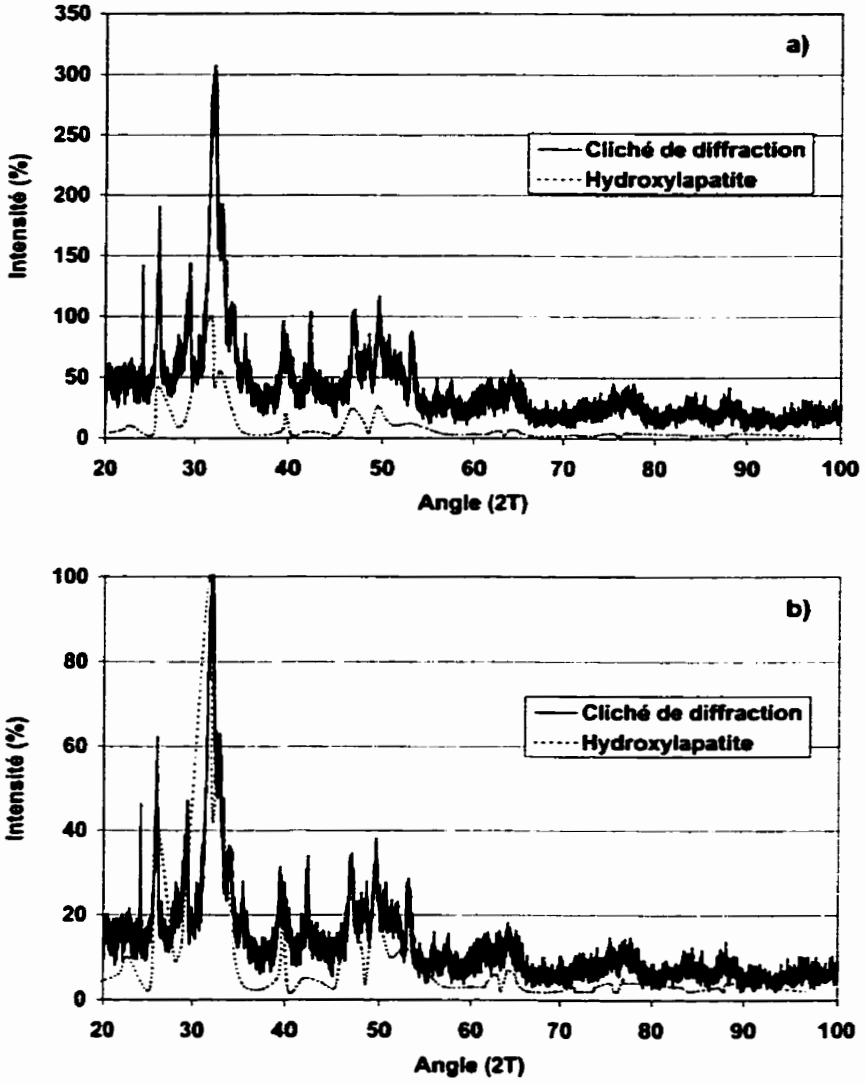


Figure 5.12 : Cliché de diffraction des rayons-X. a) cliché de diffraction intégral. b) cliché de diffraction normalisé à 100%

5.4.7 Stabilité interne

Un matériau est considéré instable lorsqu'une partie de ses fines se déplace librement dans les pores formés par les particules plus grossières. L'instabilité du matériau est vérifiée à l'aide de sa courbe granulométrique. Le pourcentage de particules instables est défini par une pente de la tangente à la courbe granulométrique inférieure à 20% pour un cycle log (Chapuis, 1992).

Les matériaux ou mélanges de matériaux testés en colonnes étaient plutôt stables montrant moins de 5% de particules mobiles selon le critère développé par Chapuis. Un pourcentage de fines trop élevé pourrait mener à un colmatage partiel du lit et ainsi à la formation de chemins d'écoulement préférentiels et de zones mortes. Le temps de rétention hydraulique et l'efficacité d'enlèvement s'en verraient alors affectés.

Des analyses granulométriques ont été effectuées pour les échantillons prélevés à tous les 10 cm dans les 5 colonnes démontées après la première série d'essais (figure 5.13). Ces analyses granulométriques ont été effectuées afin de vérifier s'il y a eu déplacement de particules au cours de la période d'essais. Les courbes granulométriques se superposent plutôt bien pour l'ensemble des matériaux, ce qui confirme que les matériaux ont été stables lors de la période d'essais. Les courbes des scories d'acier (figure 5.13c) sont légèrement distancées pour des diamètres de 1 à 5 mm. Ces différences ne sont toutefois pas corrélées à la profondeur de l'échantillon et sont probablement causées par des erreurs d'échantillonnage.

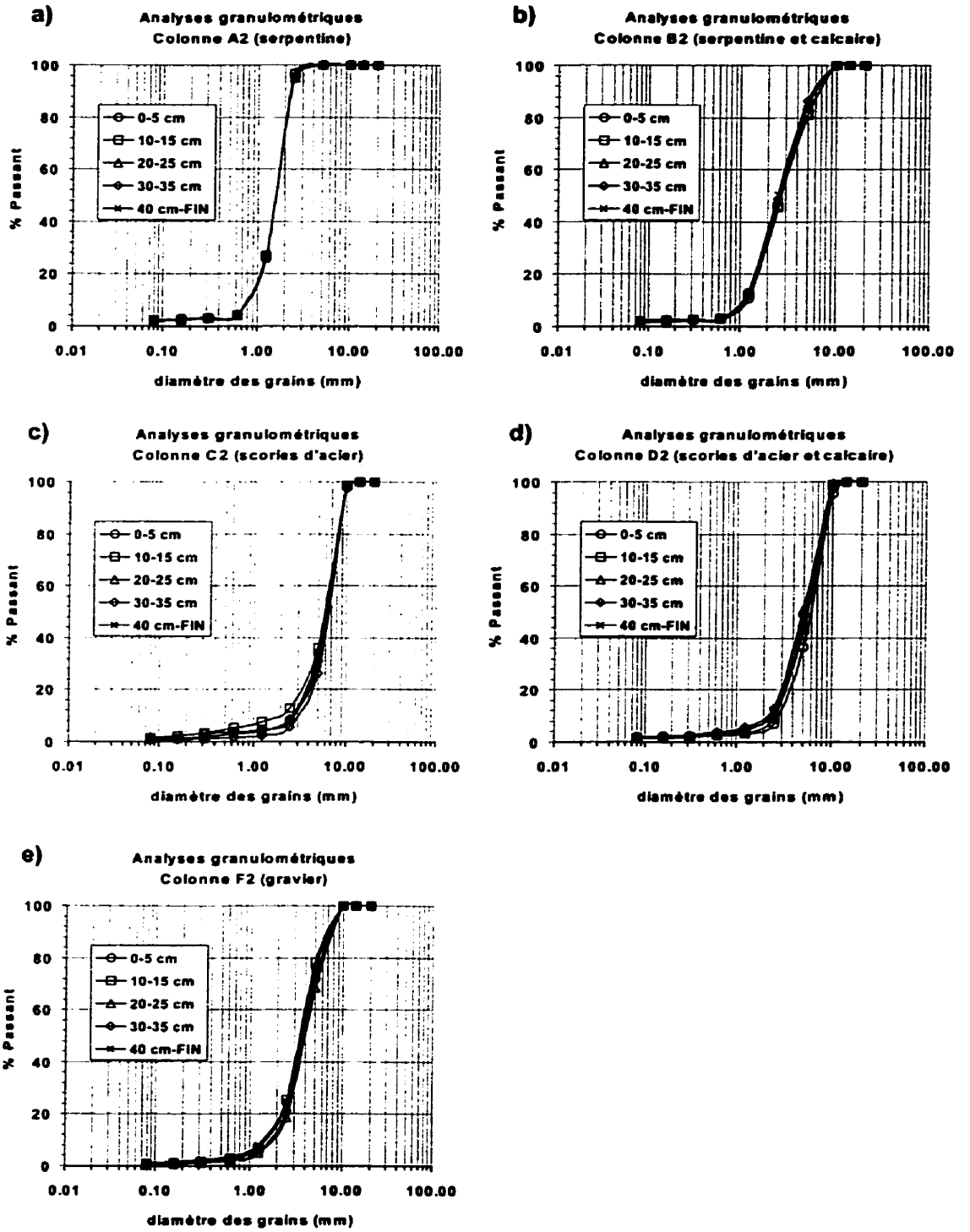


Figure 5.13 : Courbes granulométriques des échantillons prélevés lors du démontage des colonnes

CHAPITRE 6
DISCUSSION ET CONCLUSIONS

6.1 Contexte

La production piscicole apporte des changements à la qualité de l'eau, principalement au niveau de la concentration en phosphore. La concentration de cet élément favorise la croissance des plantes dans les eaux douces et c'est pourquoi on lui porte une attention particulière. C'est dans cette optique que le MEF prépare une nouvelle directive sur les exigences environnementales quant aux rejets en nutriments des piscicultures. Cette nouvelle directive pourrait mettre en péril plusieurs piscicultures si un système de traitement efficace et économique n'est pas développé sous peu.

Dans ce contexte, l'utilisation de marais artificiel et/ou de lits filtrants est proposée. Les marais artificiels ont été et sont encore utilisés pour traiter divers types d'effluents, par exemple municipaux ou agricoles, dont le débit est faible ou modéré et la concentration en phosphore varie entre 5 et 30 mg P/L. Le contexte piscicole nous contraint à traiter des effluents à forts débits et ayant de faibles concentrations en phosphore. Il est donc innovateur d'utiliser des marais artificiels dans un tel contexte.

6.2 Inventaire des matériaux

Le rôle du matériau granulaire dans l'enlèvement du phosphore par marais artificiels a été bien démontré dans la littérature (chapitre 2, section 2.2). La sélection du meilleur matériau éventuellement utilisé dans les marais artificiels est donc d'une grande importance. Les matériaux riches en Ca, Al et Fe sont connus comme étant efficaces pour immobiliser le phosphore dissous. Dans cette étude, 57 matériaux naturels et industriels ont été récupérés en fonction de cette hypothèse, mais aussi en fonction d'une hypothèse peu mentionnée dans la littérature, soit que les matériaux ayant un pH_{zpc} élevé favorisent l'adsorption d'anions puisqu'ils ont tendance à posséder une surface chargée positivement dans des eaux normales ($6 < pH < 8$).

6.3 Essais en flacons et modèles mathématiques

Un outil expérimental adéquat doit ensuite être défini pour effectuer la sélection des matériaux. Les essais d'adsorption en flacons sont généralement utilisés pour déterminer le coefficient et le potentiel maximal d'adsorption du phosphore à l'aide d'équations mathématiques, plus particulièrement celles de Langmuir et Freundlich (chapitre 3, section 3.3.1). Les paramètres des équations sont ensuite comparés afin de déterminer les matériaux les plus performants et également pour prédire la longévité d'un système à pleine échelle.

Les différents paramètres du protocole expérimental des essais en flacons ont une certaine influence sur les isothermes obtenues selon les essais réalisés lors de cette étude. L'allure des isothermes d'enlèvement du phosphore par divers matériaux dépend ainsi des conditions expérimentales et c'est pourquoi les résultats présentés dans la littérature ne peuvent être comparés. Il y a un réel besoin d'établir un protocole expérimental standard pour les essais en flacons. Les essais réalisés dans ce projet et dans des études antérieures nous ont permis de suggérer des valeurs pour plusieurs paramètres (chapitre 4, tableau 4.3).

Les paramètres suggérés ont été utilisés dans cette étude pour effectuer les essais en flacons. Les résultats ont ensuite été modélisés à l'aide d'équations mathématiques pour définir les paramètres qui serviront ensuite à comparer la performance des matériaux. Les mécanismes d'enlèvement du phosphore dépendent de la composition des matériaux et ceci se reflète dans l'allure des courbes isothermes. La modélisation de toutes les isothermes à l'aide de la même équation mathématique s'avère donc impossible. L'utilisation d'équations diverses rend toutefois la comparaison des paramètres difficile et ne permet pas de faire un choix de matériaux judicieux. De plus, l'adsorption n'est généralement pas le seul mécanisme impliqué dans l'enlèvement du phosphore par des matériaux granulaires et l'utilisation d'équations développées pour représenter uniquement ce processus devient même inadéquate. La modélisation ne semble pas un

bon outil ou sinon un outil trop complexe pour la sélection de matériaux pouvant être utilisés dans les marais artificiels et n'est pas retenue pour cette étude.

6.4 Essais en flacons et coefficient R_d

L'utilisation d'une méthode simple et comparative est privilégiée et c'est pourquoi les matériaux sont comparés à l'aide d'un coefficient R_d, tel que suggéré par la norme ASTM D4646-87. Le coefficient R_d est déterminé uniquement pour une concentration donnée et c'est pourquoi il est important d'effectuer les essais avec une concentration représentative de l'effluent à traiter. Une concentration de 1 mg P/L, qui est une concentration représentative bien qu'un peu plus élevée que celle d'un effluent piscicole, a été utilisée pour les essais. À ce moment du projet, la possibilité de traiter tout l'effluent n'avait pas encore été écartée et c'est pourquoi les essais ont été effectués à faible concentration. Par la suite, il a semblé irréaliste de traiter tout l'effluent à l'aide de marais artificiels à cause d'aspects hydrauliques, de coûts et d'espace disponible. Le traitement de boues de décantation, d'eaux de lavage d'un microtamis ou encore de surnageant de silos de décantation semblent des solutions plus viables pour réduire la masse de phosphore rejetée quotidiennement dans les cours d'eau par les piscicultures. Les essais auraient donc dû idéalement être effectués avec des concentrations un peu plus élevées, soit entre 10 et 20 mg P/L.

6.5 Le choix des matériaux et de leur granulométrie

Les matériaux sélectionnés, soit la serpentine et la scorie d'acier, ont obtenu des coefficients R_d élevés, mais avaient aussi les meilleures propriétés physiques et des coûts qui justifiaient leur utilisation dans les marais artificiels. L'utilisation de la serpentine et de la scorie d'acier pour l'enlèvement du phosphore dans les marais artificiels rehausse l'intérêt d'une telle technologie dans un contexte piscicole tout en permettant la valorisation de résidus industriels.

Le choix de la granulométrie des matériaux sélectionnés constitue l'étape finale de la sélection. L'enlèvement du phosphore étant principalement un phénomène de surface, une granulométrie fine est privilégiée. Par contre, la conductivité hydraulique du matériau doit être suffisamment élevée pour pouvoir traiter les débits des effluents. Le matériau doit également être stable, c'est-à-dire que les particules fines du matériau ne doivent pas être mobiles dans les pores formés par les particules plus grossières. Des critères de granulométrie devraient être établis précisément pour la sélection de matériaux qui seront éventuellement utilisés dans les marais artificiels.

6.6 Essais en colonnes

6.6.1 Montage expérimental

Le montage expérimental doit être conçu de façon à pouvoir bien déterminer les différents paramètres. Par exemple, le matériau a été mis en place dans la colonne par couches de 4 à 5 cm d'épaisseur afin d'obtenir un échantillon homogène. Pour chaque couche, la masse de matériau ajoutée ainsi que le volume occupé par cette masse ont été enregistrés. Ces données nous permettent ensuite, à l'aide également de la densité relative des grains, de déterminer la porosité de chacune des couches et ainsi vérifier l'homogénéité de l'échantillon. Le temps de rétention hydraulique est défini à partir de cette porosité calculée et il est donc important de déterminer ce paramètre le plus précisément possible. Bien que le montage ait été effectué de façon méticuleuse, un essai de traceur aurait toutefois été la méthode la plus précise pour définir le temps de rétention hydraulique.

6.6.2 Interprétation des résultats

Les résultats de performance d'enlèvement sont généralement présentés en fonction du temps dans la littérature. Il a été soulevé à plusieurs reprises dans le chapitre 5 qu'il est préférable de présenter les résultats en fonction du nombre de volumes de pores où l'allure de la courbe résultante est alors indépendante de la variation du débit. La

présentation des résultats sous forme de bilan massique est aussi fort intéressante puisqu'il est possible de visualiser la performance du matériau en fonction de la masse de P appliquée (section 5.4.3).

La serpentine et le mélange serpentine-calcaire ont montré des performances intéressantes (plus de 90%) pour une période de 30 à 40 jours, ce qui correspond à des ajouts de phosphore respectifs de 0,16 g P/kg et de 0,10 g P/kg. L'ajout de particules de calcaire ne semble pas avoir favorisé la formation de précipité de phosphate de calcium et a même diminué la performance du matériau.

Les scories d'acier et le mélange scories-calcaire ont donné des résultats nettement supérieurs en montrant des taux d'enlèvement de près de 100% tout au long de la première série d'essais (124 jours), ce qui correspond en moyenne à un ajout en phosphore de 0,46 g P/kg. Des performances relativement élevées, soit entre 80 et 100%, ont aussi été obtenues lors de la deuxième série d'essais où la concentration a été augmentée drastiquement à 400 mg P/L. Ces performances sont toutefois reliées à l'augmentation du temps de rétention hydraulique causée par des problèmes de colmatage. La précipitation étant un des mécanismes importants dans l'enlèvement des phosphates par les scories d'acier, le temps de rétention hydraulique joue un grand rôle dans la performance du système.

La performance d'un système de lit filtrant à pleine échelle a été estimée à partir des résultats obtenus pour les scories d'acier lors des essais en colonnes (annexe 8). Ce calcul met en perspective les résultats obtenus en colonnes et valorise ainsi l'intérêt d'utiliser les scories d'acier pour le traitement des effluents piscicoles. Le microtamisage de la totalité d'un effluent piscicole dont le débit est de 10 000 m^3/d et la concentration moyenne de 0,3 mg P/L est considéré (chapitre 2, section 2.2). L'efficacité du microtamis étant évaluée à 50% et le débit de l'eau de lavage du microtamis à 5% du débit traité, une masse de 1,5 kg P dans un volume de 500 m^3 d'eau serait donc traitée chaque jour. Les dimensions du lit filtrant sont établies en fonction

du temps de rétention hydraulique de 24 h et le volume de pores du lit filtrant doit donc être de 500 m^3. Estimant le volume du lit selon une porosité de 0,45, la masse de scories requise a pu être évaluée à 2315 tonnes métriques, ce qui correspond à environ 111 camions. Le gradient hydraulique requis a été estimé à l'aide de la loi de Darcy à 0,014, ce qui équivaut à une différence de charge de 0,4 m entre l'entrée et la sortie du lit.

La masse de scories d'acier estimée nous permet maintenant de convertir les résultats obtenus en colonnes à une échelle plus pratique. Une application de 0,46 g P/kg a été effectuée lors de la première série d'essais, ce qui représente une utilisation du système à pleine échelle d'environ 2 ans. À ce moment, les taux d'enlèvement était encore de 100%. Une application totale de 2,41 g P/kg a été effectuée durant les deux séries d'essais en colonnes, ce qui représente cette fois une utilisation de 10 ans du système à pleine échelle. La performance moyenne des scories étant de 97%, les taux d'enlèvement ont varié entre 80 et 100% lors de la deuxième série d'essais où la concentration en phosphore était alors de 400 mg P/L.

Les scories d'acier ont enlevé 2,3 mg P/g lors de la période d'essai et à ce moment n'avaient pas encore atteint la saturation alors que les essais en flacons effectués avec ces mêmes scories avaient montrés en moyenne des maximum d'adsorption (M) de 0,35 mg P/g (figure 4.3). Ceci montre que les mécanismes impliqués dans l'enlèvement du phosphore lors des essais en flacons et en colonnes ne sont pas les mêmes et qu'il n'est pas adéquat d'utiliser les valeurs obtenus lors des essais en flacons pour estimer la performance des matériaux à long terme. Les essais en flacons sont utiles pour comparer la performance des matériaux à court terme et il est nécessaire d'effectuer des essais en colonnes pour déterminer la performance des matériaux à plus long terme.

6.6.3 Mécanismes d'enlèvement

La caractérisation des matériaux testés est probablement la première étape si on veut comprendre les mécanismes d'enlèvement. Des analyses chimiques et minéralogiques

scorie d'acier, le calcaire et le gravier. Le principal mécanisme d'enlèvement du phosphore par la serpentine semble l'adsorption, d'autant plus qu'aucune précipitation n'a été observée dans les colonnes. Les principaux mécanismes d'enlèvement du phosphore par les scories d'acier sont l'adsorption spécifique par les hydroxydes de métaux et la précipitation par le calcium provenant de la chaux utilisée lors de la fabrication de l'acier.

Les précipités formés dans les colonnes de scories d'acier sont en fait de l'hydroxylapatite. L'hydroxylapatite est le phosphate de calcium le plus stable après la fluroapatite pour des pH relativement élevés (environ 8 et plus). À ces pH, l'hydroxylapatite est formée même pour des concentrations très faibles en phosphore et en calcium. Ce mécanisme d'enlèvement est donc très efficace pour traiter des effluents dont les critères de rejets sont très stricts, comme c'est le cas pour les effluents piscicoles. C'est aussi un moyen durable d'immobiliser le phosphore étant donné que la mise en solution de l'hydroxylapatite se fait seulement à des concentrations en solution très faibles ou si le milieu granulaire n'arrive plus à maintenir un pH élevé.

Les pH observés pour les effluents des scories d'acier étaient très élevés, de l'ordre de 11 et plus, ce qui est très favorable à la formation d'hydroxylapatite. Il est à noter toutefois que l'effluent utilisé dans les essais en colonnes était composé d'eau distillée et d'un sel de phosphore (KH_2PO_4) La capacité tampon d'un effluent réel est sûrement plus élevée et les pH observés seraient probablement plus faibles. Le temps de rétention hydraulique influence également la valeur de pH de l'effluent. Plus le temps de rétention est long et plus le pH sortant est élevé. Un temps de rétention hydraulique suffisamment élevé doit donc être utilisé pour permettre aux noyaux d'hydroxylapatite de se former et de maintenir un pH favorisant la précipitation. Il serait donc intéressant d'optimiser ce temps de rétention hydraulique avec un effluent réel.

6.6.4 Incertitudes et essais futurs

La longévité et la performance d'un système à pleine échelle ne peuvent être estimées de façon précise à partir de résultats obtenus en testant le traitement d'un effluent synthétique par des essais en colonnes. Plusieurs facteurs, par exemple la présence de matière organique, n'ont pas été pris en compte dans cette étude. De plus, les calculs montrant de bonnes performances d'enlèvement même après 2 et 10 ans supposent que le pH est maintenu élevé par le matériau granulaire tout au long de l'utilisation. La définition de critères de conception ou toute prédiction de la performance d'un système à pleine échelle basées sur ces résultats pourraient s'avérer trop optimistes.

Des bilans massiques obtenus en testant un effluent réel sur une plus longue période permettraient d'estimer plus adéquatement la performance et la longévité d'un système à pleine échelle. L'influence des principaux facteurs sur la performance d'enlèvement du P à l'aide de scories d'acier, tels la concentration en P de l'effluent à traiter, le temps de rétention hydraulique et l'âge du système devrait également être étudiée afin d'optimiser les critères de conception d'un lit filtrant.

Les impacts environnementaux de l'utilisation de scories d'acier pour traiter les effluents piscicoles n'ont pas été évalués dans cette étude. Les conséquences des pH très élevés des effluents des scories d'acier sur le milieu environnant devraient être relevées. Les métaux compris dans les scories d'acier semblent stables, c'est-à-dire que les effluents des colonnes respectaient l'ensemble des critères de qualité de l'eau. Un suivi exhaustif des concentrations en métaux dans les effluents devrait toutefois être effectué sur une longue période pour évaluer les impacts réels de l'utilisation de scories d'acier sur la qualité de l'eau.

RÉFÉRENCES

ACKEFORS, H and ENELL, M. (1994). The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in nordic countries. *Journal of Applied Ichthyology*, 10, 225-241.

ANDERSON, B.C. and ROSOLEN, S. (2000). Post-installation solutions for phosphorus reduction in cold climate treatment wetlands. *Proceedings of the 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, held in Florida, november 11-16, 143-149.

ASTM D4646-87 (1993). Standard Test Method for 24-h Batch Type Measurement of Contaminant Sorption by Soils and Sediments. *The American Society for Testing and Materials*, 44-47.

ATKINSON, R.J., POSNER, A.M. and QUIRK, J.P. (1967). Adsorption of Potential Determining Ions at the Ferric Oxide-Aqueous Electrolyte Interface. *Journal of Physical Chemistry*, 71: 550-558.

BACHE, B.W. and WILLIAMS, E.G. (1971). A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.* 22 (3), 289-301.

BAKER, M.J., BLOWES, D.W. and PTACEK, C.J. (1997). Phosphorus Adsorption and Precipitation in a Permeable Reactive Wall : Applications for Wastewater Disposal Systems. *Land Contamination & Reclamation*, 5 (3), 189-193.

BAKER, M.J., BLOWES, D.W. and PTACEK, C.J. (1998). Laboratory Development of Permeable Reactive Mixtures for the Removal of Phosphorus from Onsite Wastewater Disposal Systems. *Environmental Sci. Technol.* 32, 2308-2316.

BALISTRIERI, L.S. and MURRAY, J.W. (1982). Metal-Solid Interactions in the Marine Environment : Estimating Apparent Equilibrium Binding Constants, *Geochimica et Cosmochemica Acta*, 47: 1091-1098.

BARROW, N.J., OZANNE, P.G. and SHAW, T.C. (1965). Nutrient Potential and Capacity. 1. The Concepts of Nutrient Potential and Capacity and their Application to Soil Potassium and Phosphorus. *Australian Journal of Agriculture Research*, 16, 61-76.

BARROW, N.J. (1978). The Description of Phosphate Adsorption Curves. *Journal of Soil Science*, 29, 447-462.

BARROW, N.J. (1979). Effects of Solution : Soil Ratio and Vigour of Shaking on the Rate of Phosphate Adsorption by Soil. *Journal of Soil Science*, 30, 67-76.

BARROW, N.J., BOWDEN, J.W., POSNER, A.M. and QUIRK, J.P. (1980). Describing the Effects of Electrolyte on Adsorption of Phosphate by a Variable Charge Surface. *Australian Journal of Soil Research*, 18, 395-404.

BAVOR, H.J. and MITCHEL, D.S. (eds) (1994). Wetland Systems in Water Pollution Control. *Water Science and Technology*, 29 (4), Pergamon Press, UK, 336 p.

BEEK, J. and van RIEMSDIJK, W.H. (1982). Interaction of Orthophosphate Ions with Soil. In : Bolt, G.H. (Ed.), *Soil Chemistry B. Physico-chemical models*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Oxford - New York, 527 pp.

BLOWES, D. W., PTACEK, C.J., CHERRY, J.A. GILLHAM, R.W. ROBERTSON, W.D. (1995). Passive Remediation of Groundwater Using *In Situ* Treatment Curtains. In : Acar, Y. B. et D. E. Daniel (Eds.), *Geoenvironment 2000, Characterization, Containment, Remediation, and Performance in Environmental Geotechnics, Geotechnical Special Publication* 46 (2), American Society of Civil Engineers, New York, 1588-1607.

BLOWES, D. W., PTACEK, C.J. and BAKER, M.J. (1999). Treatment of Contaminated Water. United States Patent number 5,876,606. University of Waterloo, Ontario.

BREEUWSMA, A. and LYKLEMA, J. (1973). Physical and Chemical Absorption of Ions in the Electrical Double Layer on Hematite (α Fe_2O_3). *Journal of Colloid Interface Science*, 43: 437-448.

BRIX, H. (1993). Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance. In: Moshiri, G.A. (ed), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 391-398.

BRIX, H., ARIAS, C.A. and del BUBBA, M. (2000). How Can Phosphorus Removal Be Sustained in Subsurface-Flow Constructed Wetlands? *Proceedings of the 7th Internatinal Conference on Wetland systems for Water Pollution Control*, University of Florida, Lake Buena Vista, Florida, november 11-16, 2000, 65-74.

BRUCE, R.J., RABENHORST, M.C., FRIGON, G.A. (1992). Phosphorus Sorption by Peat and Sand Amended with Iron Oxides or Steel Wool. *Water Environment Research*, 64 (5), 699-705

CHAN, E., BURSZTYNSKY, T.A., HANTZSCHE, N. and LITWIN, Y.J. (1982). *The Use of Wetlands for Water Pollution Control*. U.S. EPA - 600/2-82-086, 261p.

CHAPUIS, R.P. (1992). Similarity of Internal Stability Criteria for Granular Soils. *Canadian Geotechnical Journal.*, 29, 711-713.

CHAPUIS, R.P. and LÉGARÉ, P.P. (1992). *A Simple Method for Determining the Surface Area of Fine Aggregates and Fillers in Bituminous Mixtures*, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance, ASTM STP 1147, R. C. Meininger, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 177-186.

COMEAU, Y., AUBERTIN, M., SAMSON, R., ROBERGE, F. et HADE, C. (1999). Enlèvement du phosphore d'un effluent industriel par adsorption-précipitation dans un lit granulaire à écoulement vertical. Compte-rendus du *30e congrès annuel de l'Assoc. professionnelle des géologues et géophysiciens du Québec (APGGQ)*, Rouyn-Noranda, 14-16 avril.

COMEAU, Y., BRISSON, J., RÉVILLE, J.-P., FORGET, C. and DRIZO, A. (2000). Phosphorus removal from trout farm effluents by constructed wetlands. *Proceedings of the 7th Internatinal Conference on Wetland systems for Water Pollution Control*, held in Florida, USA, november 11-16, 2000, 87-93.

COOPER, P.F. and FINDLATER, B.C. (1990). *Constructed wetlands in water pollution control*. Pergamon Press, Oxford, U.K.

DOMENICO, P. A. and SCHWARTZ, F.W. (1998). *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc., 440-443.

DREVER, J.I. (1988). The Geochemistry of Natural Waters. Englewood Cliffs, New Jersey, 437 p.

DRIZO A. (1998). *Phosphate and ammonium removal from waste water, using constructed wetland systems*. Ph.D. thesis, Faculty of Science and Engineering. University of Edinburgh, Scotland.

DRIZO A., FROST, C.A., GRACE J. et SMITH, K.A. (1999). Physico-chemical screening of phosphate-removing substrates for use in constructed wetland systems. *Water Research* 33 (17), 3595-3602.

DRIZO, A., FORGET, C., CHAPUIS, R.P. and COMEAU, Y. (2000). How realistic are the linear Langmuir predictions of phosphate retention by adsorbing materials? *Proceedings of the IWA 1st World Congress*, held in Paris, France, 3-7th July, 2000.

FAURE. G. (1991). Principles and Applications of Inorganic Geochemistry : a Comprehensive Textbook for Geology Students. Macmillan Publishers, New York.

FOUCAULT, A. et RAOULT, J.-F. (1988). *Dictionnaire de géologie*. 3e édition, Masson, Paris, 352 p.

GUMBRICHT, T. (1993). Nutrient Removal Processes in Freshwater Submersed Macrophyte Systems. *Ecological Engineering*, 2, 1-30.

HAMMER, D.A. (1989). *Constructed Wetlands for Waste Water Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural.* Lewis publishers, Inc., Chelsea, MI, USA.

HARTER, R.D. (1984). Curve-Fit Errors in Langmuir Adsorption Maxima. *Soil Science Society of America Journal.*, 48, 749-752.

HOPE, G.D. and SYERS, J.K. (1976). Effects of Solution : Soil Ratio on Phosphate Sorption by Soils. *Journal of Soil Science*, 24, 301-306.

HOUSE, W. A. (1999). The Physico-Chemical Conditions for the Precipitation of Phosphate with Calcium. *Environmental Technology*, 20, 727-733.

JOHANSSON, L (1997). Use of LECA (Light Epanded Clay Aggregates) for the Removal of Phosphorus from Wastewater. *Water Science and Technology*. 35 (5), 87-93.

JOHANSSON, L. (1998). *Phosphorus Sorption to Filter Substrates*. Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

JOHANSSON, L. and GUSTAFSSON, J.P. (2000). Phosphate Removal Using Blast Furnace Slags and Opoka-Mechanisms. *Water Research and Technology*. 34, (1), 259-265.

KADLEC, R.H. and KNIGHT, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, New York, 893 p.

KINNIBURGH, D.G. (1986). General Purpose Adsorption Isotherms. *Environmental Science and Technology*, 20, 895-904.

KURTZ, L.T., De TURK, E.E. and BRAY, R.H. (1946). Phosphate Adsorption by Illinois Soils. *Soil Science*, 61, 111-124.

MANN, R.A. (1990). Phosphorus Removal by Constructed Wetlands: Substratum Adsorption. In: Cooper, P.F. and Findlater, B.C. (Eds) *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, Pergamon Press, Oxford.

MANN, R.A. (1997). Phosphorus Adsorption and Desorption Characteristics of Constructed Wetland Gravels and Steelworks By-Products. *Australian Journal of Soil Research*, 35, 375-384.

MEF (1998). *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec.* Ministère de l'Environnement et de la Faune. Québec, mai.

MORIN, R (1997). La production piscicole au Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de l'innovation et des technologies, Québec. Document d'information STPED – 02, 7 p.

MORIN, R. (1998). Lois et règlements relatifs à l'aquiculture d'eau douce. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de l'innovation et des technologies, Québec. Document d'information STPED - 04, 12 p.

NAIR, P.S., LOGAN, T.J., SHARPLEY, A.N., SOMMERS, L.E., TABATABAI, M.A. and YUAN, T.L. (1984). Interlaboratory Comparison of a Standardized Phosphorus Adsorption Procedure. *Journal of Environmental Quality*, 13 (4), 591-595.

OLSON, S.R. and WATANABE, F.S. (1957). A Method to Determine Phosphorus Adsorption Maximum of Soils as Measured by the Langmuir Isotherm. *Soil Science Society of America Proceedings*, 21, 144-149.

OUELLET, G. (1999). Les rejets des stations piscicoles et leurs impacts environnementaux. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de l'innovation et des technologies, Québec. Document de recherche, 1-45.

PARKS, G. A. (1967). Aqueous Surface Chemistry of Oxides and Complex Oxide Minerals. In : *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, Advances in Chemistry Series*, 67, American Chemical Society, Washington D.C., 121-160.

PICHÉ, M. (2000). Heckett Multiserv. Communication personnelle.

PROCTOR, D.M., FEHLING, K.A., SHAY, E.C., WITTENBORN, J.L., GREEN, J.J., AVENT, C., BIGHAM, R.D., CONNOLLY, M., LEE, B., SHEPKER, T.O. and ZAK, M.A. (2000). Physical and Chemical Characteristics of Blast Furnace, Basic Oxygen Furnace, and Electric Arc Furnace Steel Industry Slags. *Environmental Science and Technology*, 34, 1576-1582.

REDDY, K. R. and D'ANGELO, E.M. (1997). Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*, 35 (5), 1-10.

SAKADEVAN, K. and BAVOR, H.J. (1998). Phosphate Adsorption Characteristics of Soils, Slags and Zeolite to be Used as Substrates in Constructed Wetland Systems. *Water Research*, 32 (2), 393-399.

SNOEYINK, V. and JENKINS, D. (1980). *Water Chemistry.* John Wiley & Sons, New York, 243-301.

SPOSITO, G. (1984). The Surface Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, 234 p.

SPOSITO, G. (1989). The Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, Oxford, 277 p.

STUMM, W. and MORGAN, J.J. (1981). *Aquatic Chemistry - An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., États-Unis, 627-635.

SYERS, J.K., HARRIS, R.F. and ARMSTRONG, D.E. (1973). Phosphate Chemistry in Lake Sediments. *Journal of Environmental Quality*. 2, 1-14.

TCHOBANOGLOUS, G. (1993). Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems : Research, Design, Operational, and Monitoring Issues. In: Moshiri, G.A. (ed), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, USA, 23-34.

VYMAZAL, J, BRIX, H., COOPER, P.F., GREEN, M.B. and HABERL, R. (1998). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, 366 p.

WHITE, G.N. and ZELAZNY, L.W. (1986). Charge Properties of Soil Colloids. In : Sparks, D.L. (Ed.). *Soil Physical Chemistry*. CRC Press, Inc., Florida, 308 p.

WOOD, A. (1990). The Application of Constructed Wetlands in South Africa. In: Cooper, P.F. and Findlater, B.C. (eds), *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, Pergamon Press, Oxford, 235-234.

WOOD, R.B., McATAMNEY, C.F. (1996). Constructed Wetlands for Waste Water Treatment: The Use of Laterite in the Bed Medium in Phosphorus and Heavy Metal Removal. *Hydrobiologia*, 340, 323-331.

YAMADA, H., KAYAMA, M., SAITO, K. and HARA, M. (1986). A Fundamental by Using Slag. *Water Research* 20 (5), 547-557.

YATES, D.E. and HEALY, T.W. (1975). Mechanism of Anion Adsorption at the Ferric and Chromic Oxide/Water Interface. *Journal of Colloid Interface Science*, 52: 222-228.

YONG, R.N. (1992). *Principles of Contaminant Transport in Soils*, Developments in Geotechnical Engineering, 73, Elsevier, 297-316.

ZHU, T., JENSSEN, P.D., MAEHLUM, T. and KROGSTAD, T. (1997). Phosphorus Sorption and Chemical Characteristics of Lightweight Aggregates (LWA) - Potential Filter Media in Treatment Wetlands. *Water Science and Technology*, 35 (5), 103-108.

ANNEXE 1 - INVENTAIRE DES MATÉRIAUX

Tableau A1.1 Liste des matériaux récupérés pour les essais d'adsorption en flacons

Matériau	Description	Entreprise	Ville du Québec	Région administrative
1	Calcaire 2,5-6,3 mm	Graybec	Joliette	14
2	Calcaire LEH-1, 2,5-5 mm	Carrière St-Ferdinand	St-Ferdinand	17
3	Calcaire ¼"	Carrière Épiphanie	L'Assomption	14
4	Calcaire ¼"	Carrière Sintra	St-Jacques	14
5	Calcaire ¼"	Carrière Berthier	Ste-Élizabeth	14
6	Calcaire ¼" lavé	Carrière Galipeau	St-Stanislas-de-Kostka	16
7	Calcaire 5-10 mm	Carrière St-Ursule	St-Barthélémy	04
8	Calcaire LEH-2, 1,2-2,5 mm	Carrière St-Ferdinand	St-Ferdinand	17
9	Calcaire ½"	Carrière Berthier	Ste-Élizabeth	14
10	Calcaire 5 mm	Carrières Régionales	St-Louis de Gonzague	16
11	Calcaire ¼" à ½"	Carrière St-Ursule	St-Barthélémy	14
12	Calcaire ¼"	Carrière St-Barthélémy	St-Barthélémy	14
13	Calcaire ½"	Carrière Sintra	St-Jacques	14
14	Calcaire ½"	Carrière Épiphanie	L'Assomption	14
15	Calcaire ¾"	Carrière St-Ursule	St-Barthélémy	14
16	Calcaire ½"	Carrière St-Barthélémy	St-Barthélémy	14
17	Calcaire 6-14 mm	Carrière Graybec	Joliette	14
18	Calcaire 3/16"	Carrière Galipeau	St-Stanislas-de-Kostka	16
19	Calcaire ¾"	Carrière Galipeau	St-Stanislas-de-Kostka	16
20	Calcaire 5 mm lavé	Carrières Régionales	St-Louis de Gonzague	16
21	Calcaire ¼" entreposé	Carrière Galipeau	St-Stanislas-de-Kostka	16
22	Calcaire ¼"	Carrière Galipeau	St-Stanislas-de-Kostka	16
23	Calcaire 2,5-5 mm	Carrière Ste-Justine	Ste-Justine	12
24	Calcaire 0-5 mm	Carrière Ste-Justine	Ste-Justine	12
25	Calcaire 5-10 mm	Carrière Ste-Justine	Ste-Justine	12
26	Calcaire 5-10 mm	Carrière Lafarge	Montréal Est	06
27	Calcaire broyé	Carrière Lafarge	Montréal Est	06
28	Calcaire 0-2,5 mm	Carrière Ste-Justine	Ste-Justine	12
29	Calcaire 0-5 mm (criblure)	Carrière Lafarge	Montréal Est	06
30	Marbre broyé	Laboratoire	Montréal	
31	Calcaire	Site Lorraine	Latulipe	08
32	Gravier 10-14 mm	La-Ro	Ste-Béatrix	14
33	Gravier 5-10 mm	La-Ro	Ste-Béatrix	14
34	Gravier	Sables L.G.	New Glasgow	15
35	Sable	Projet Agropur		
36	Shale		Écosse	
37	Béton recyclé	Carrières Régionales	St-Louis de Gonzague	16
38	Scories	Carr. Richard Capuano	Melocheville	16
39	Silice	Carr. Richard Capuano	Melocheville	16
40	Laine d'acier	Laboratoire		
41	Scories d'acier 0-5 mm	Ispat-Sidbec	Contrecoeur	16
42	Scories d'acier 2,5-10 mm	Ispat-Sidbec	Contrecoeur	16
43	Scories d'acier 5-14 mm	Ispat-Sidbec	Contrecoeur	16
44	Scories d'acier	QIT Fer et Titane	Tracy	16
45	Chrysotile 4T-300	Mines Black Lake, Bell	Black Lake, Thetford Mines	12
46	Résidus d'amiante du convoyeur 45	Mine Black Lake	Black Lake	12
47	Résidus d'amiante 0-3/4"	Mine Black Lake	Black Lake	12
48	Résidus d'amiante 1/8"	Mine Bell	Thetford Mines	12
49	Résidus d'amiante ¼"	Mine Bell	Thetford Mines	12
50	Chrysotile 7D-300	Mines Black Lake, Bell	Black Lake, Thetford Mines	12
51	Broches pour le béton (1)	Laboratoire		
52	Broches pour le béton (2)	Laboratoire		
53	Broches pour le béton (3)	Laboratoire		
54	Broches pour le béton (4)	Laboratoire		
55	Boues de traitement des eaux acides	Noranda		
56	Alumine activée	Laboratoire		
57	Granules de fer modifiées au soufre	John Meunier - U.S. Filter		

Figure A1.1 Régions administratives du Québec

Tableau A1.2 Points de charge zéro (pH_{zpc}) selon la littérature

	Matériau	Formule chimique	pH_{zpc}	Références
Oxydes et hydroxydes	Oxydes et hydroxydes d'aluminium	α - Al_2O_3	9,1	Sposito (1984) Stumm and Morgan (1981)
		$Al(OH)_3$	~ 9	Drever (1988) Faure (1991)
		γ - Al_2O_3	8,5	Stumm and Morgan (1981)
		γ - AlOOH	8,2	Stumm and Morgan (1981)
		α - $Al(OH)_3$	5,0	Stumm and Morgan (1981)
	Oxydes et hydroxydes de fer	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	6-9	Faure (1991)
		Fe_2O_3	5-9	Drever (1988)
		α - Fe_2O_3	8,5	Breeuwsma and Lyklema (1973)
		$Fe(OH)_3$ amorphe	8,5	Stumm and Morgan (1981)
		FeOOH	7,8 6-7	Stumm and Morgan (1981) Drever (1988)
		α - FeOOH	7,3	Atkinson *et al* (1967)
		γ - Fe_2O_3	6,7	Stumm and Morgan (1981)
		α - Fe_3O_4	6,5	Drever (1988) Stumm and Morgan (1981)
	Oxydes de manganèse	β - MnO_2	7,2	Stumm and Morgan (1981)
		MnO_2	2-4,5	Stumm and Morgan (1981)
		δ - MnO_2	2,8	Stumm and Morgan (1981)
		γ - MnO_2	2,2	Balistrieri and Murray (1982)
	Oxydes de titane	TiO_2	7,2 5,8	Drever (1988) Yates (1975)
	Oxydes de magnésium	MgO	12,4	Stumm and Morgan (1981)
	Oxydes de cuivre	CuO	9,5	Stumm and Morgan (1981)
Carbonates	Calcite	$CaCO_3$	8-9,5	Stumm and Morgan (1981)
	Hydroxylapatite	$Ca_5(PO_4)_3OH$	7,6	Stumm and Morgan (1981)
Silicates	Quartz	α - SiO_2	2,9	Sposito (1984)
		SiO_2	2,0	Drever (1988) Stumm and Morgan (1981)
	Serpentine (chrysotile)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	> 12	Stumm and Morgan (1981)
	Feldspaths		2-2,4	Stumm and Morgan (1981)
	Zircon	$ZrSiO_4$	5,0	Stumm and Morgan (1981)
	kaolinite		~ 3,5	Drever (1988)
	Montmorillonite		< 2,5	Drever (1988)

ANNEXE 2 - ESSAIS D'ADSORPTION EN FLACONS

Tableau A2.1 Résultats des essais d'adsorption effectués selon 3 protocoles

Protocole I			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
1	99.1	< 0.01	0.02
2	99.3	< 0.01	0.03
3	99.4	< 0.01	0.01
4	99.6	2.31	0.10
5	99.3	2.31	0.19
6	99.2	2.31	0.04
7	99.3	4.81	0.55
8	99.4	4.81	0.90
9	99.3	4.81	0.36
10	99.4	9.40	0.18
11	99.4	9.40	0.15
12	99.3	9.40	0.18
13	99.3	27.34	5.98
14	99.3	30.04	5.51
15	99.1	29.54	3.26
16	99.1	83.26	4.57
17	99.2	72.01	-
18	99.4	94.80	7.53
19	99.5	308.02	18.57
20	99.3	292.83	20.25
21	99.4	301.27	17.44
22	99.5	1007.03	302.39
23	99.3	956.40	80.87
24	99.3	1035.16	204.64

Protocole II			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
25	49.8	0.015	0.007
26	49.6	0.015	0.032
27	49.6	0.015	0.004
28	49.7	2.46	0.062
29	49.7	2.46	0.149
30	49.7	2.46	0.114
31	49.7	4.75	0.636
32	49.6	4.75	0.211
33	49.9	4.75	0.425
34	49.7	19.02	0.239
35	49.6	19.02	0.152
36	49.8	19.02	0.203
37	50.0	29.958	0.366
38	49.8	27.511	3.165
39	50.0	29.198	2.672
40	50.0	105.204	3.165
41	50.0	102.391	12.086
42		103.235	
43	49.9	308.017	17.159
44	49.8	295.359	17.581
45		308.861	
46	49.8	956.399	355.837
47	49.9	959.212	272.855
48		1046.414	

Protocole III			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
49	49.7	0	0.018
50	49.7	0.001	0.023
51	49.6	-0.007	0.039
52	49.7	2.335	1.536
53	49.6	2.356	1.063
54	49.7	2.433	2.115
55	49.7	4.67	1.89
56	49.7	4.74	2.312
57	49.7	4.712	2.633
58	49.7	9.536	0.315
59	49.6	9.48	0.405
60	49.7	9.423	0.411
61	49.6	27.511	0.774
62	49.7	27.679	3.699
63	49.7	27.764	1.238
64	49.7	105.204	12.236
65	49.7	114.768	8.368
66	49.6	99.859	3.868
67	49.6	281.013	24.332
68	49.7	275.105	18.706
69	49.8	280.169	23.769
70	49.7	957.586	257.384
71	49.7	973.277	203.938
72	49.6	990.155	219.409

Tableau A2.2 Essais d'adsorption effectués avec divers électrolytes

Sans électrolyte			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
73	35.16	1.11	0.14
74	34.98	1.11	0.10
75	35.01	1.11	0.07
76	35.18	2.51	0.05
77	35.05	2.51	0.06
78	35.22	2.51	0.04
79	35.09	5.02	0.11
80	35.17	5.02	0.04
81	35.14	5.02	0.08
82	35.20	10.06	0.11
83	35.03	10.06	0.09
84	35.32	10.06	0.14
85	35.00	20.63	3.92
86	35.07	20.63	0.38
87	35.10	20.63	5.54

Électrolyte $CaCl_2$			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
88	35.07	1.05	0.02
89	35.00	1.05	0.02
90	35.01	1.05	0.01
91	34.99	2.52	0.02
92	35.18	2.52	0.02
93	34.95	2.52	0.03
94	34.98	5.02	0.02
95	35.00	5.02	0.02
96	35.00	5.02	0.04
97	35.18	10.23	0.06
98	34.99	10.23	0.04
99	35.12	10.23	0.02
100	35.30	20.40	0.01
101	35.09	20.40	0.01
102	35.18	20.40	0.01

Électrolyte NaCl			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
103	35.02	1.19	0.04
104	35.16	1.19	0.07
105	35.03	1.19	0.06
106	35.14	2.57	0.05
107	35.29	2.57	0.06
108	35.05	2.57	0.05
109	35.00	5.03	0.07
110	35.10	5.03	0.10
111	35.07	5.03	0.11
112	35.06	10.20	0.15
113	35.08	10.20	0.17
114	35.08	10.20	0.20
115	35.01	20.16	4.40
116	35.04	20.16	0.65
117	35.09	20.16	5.23

Électrolyte KCl			
# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C finale mg P/L
118	34.99	1.03	0.07
119	35.03	1.03	0.07
120	35.07	1.03	0.07
121	35.07	2.55	0.06
122	35.11	2.55	0.05
123	35.11	2.55	0.10
124	35.10	5.07	0.08
125	35.08	5.07	0.11
126	35.03	5.07	0.08
127	35.11	10.09	0.11
128	35.03	10.09	0.09
129	35.04	10.09	0.08
130	35.09	19.75	2.18
131	35.03	19.75	5.51
132	35.01	19.75	4.36

Tableau A2.3 Essais d'adsorption effectués dans le temps

# Essai	Poids g	C initiale mg P/L	C (24 h) mg P/L	C (48 h) mg P/L	C (72 h) mg P/L	C (96 h) mg P/L
133	50.0	0.99	0.78	0.77	0.44	0.37
134	50.0	1.01	1.04	0.97	0.40	0.54
135	50.0	1.00	1.04	0.87	0.37	0.44
136	50.0	2.40	1.51	0.70	0.24	0.27
137	50.1	2.21	1.74	0.57	0.20	0.20
138	50.0	2.31	1.74	0.81	0.20	0.30
139	49.9	4.61	1.94	0.70	0.13	0.27
140	49.9	4.43	2.05	0.77	0.13	0.27
141	50.0	4.52	2.65	0.77	0.13	0.27
142	50.0	9.25		1.37	0.48	0.44
143	50.0	9.18	3.36	1.27	0.48	0.37
144	50.0	9.21	3.84	1.24	0.32	0.34
145	50.0	17.60	7.67	3.20	1.60	0.97
146	50.0	17.74	6.87	2.08	0.80	1.31
147	50.0	17.67	7.19	3.04	1.44	1.31

Tableau A2.4 Résultats des essais d'adsorption (1/3)

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Graybec 2,5 à 6,3 mm	148	50.3	0.99	1.06
	149	50.5	0.99	1.03
	150	50.3	0.99	1.03
	151	50.2	2.30	2.19
	152	50.2	2.30	2.33
	153	50.0	2.30	1.50
	154	50.0	5.01	2.38
	155	50.2	5.01	4.59
	156	49.9	5.01	4.18
	157	50.2	9.90	5.43
	158	50.2	10.10	3.57
	159	50.1	10.00	5.77
	160	50.9	27.68	15.70
	161	50.1	29.96	14.18
	162	49.9	28.82	13.92

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Calcaire LEH-1, Saint-Ferdinand	163	50.1	0.93	0.62
	164	50.2	0.98	0.81
	165	50.1	0.96	0.66
	166	50.0	2.36	1.24
	167	50.0	2.47	0.82
	168	50.1	2.41	1.26
	169	50.0	4.47	0.78
	170	50.0	4.54	0.70
	171	50.1	4.50	0.55
	172	50.1	9.66	2.67
	173	50.2	9.73	1.18
	174	50.1	9.69	0.50
	175	50.0	18.43	3.06
	176	50.1	18.36	4.02
	177	49.9	18.39	3.42

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Calcaire 1/4", Carrière Épiphanie	178	50.1	0.96	0.79
	179	50.0	0.95	0.45
	180	50.2	0.96	0.62
	181	50.0	2.54	1.34
	182	50.3	2.54	1.51
	183	50.2	2.54	0.70
	184	50.0	4.73	2.67
	185	50.2	4.73	1.81
	186	50.0	4.73	2.70
	187	50.0	10.07	3.23
	188	50.0	9.80	3.29
	189	50.0	9.93	3.09
	190	50.0	19.80	11.85
	191	49.9	19.32	10.48
	192	49.9	19.56	12.74

Tableau A2.4 Résultats des essais d'adsorption (2/3)

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Calcaire 1/4", Carrière Sintra	193	50.1	0.98	1.39
	194	50.3	1.16	1.35
	195	50.2	1.07	1.25
	196	49.9	2.28	2.06
	197	50.0	2.31	1.95
	198	50.1	2.30	1.97
	199	49.9	4.48	2.23
	200	50.3	4.27	2.06
	201	50.0	4.38	1.65
	202	50.1	9.11	1.92
	203	50.1	9.32	2.47
	204	50.1	9.21	1.71
	205	50.3	19.39	5.96
	206	50.1	19.11	7.06
	207	50.0	19.25	6.78

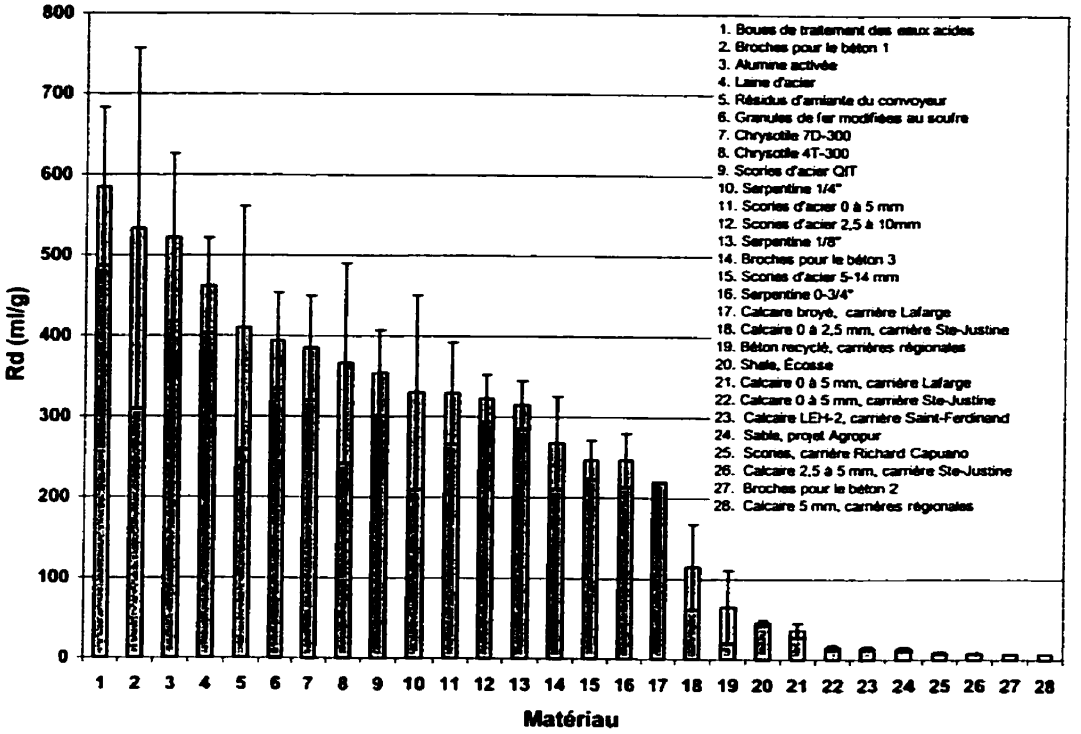
Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Calcaire 1/4", Carrière Berthier	208	49.8	1.02	1.17
	209	50.0	1.01	1.07
	210	50.0	1.01	1.35
	211	49.8	2.43	2.36
	212	49.8	2.39	2.36
	213	49.9	2.41	2.56
	214	49.9	4.38	4.03
	215	50.0	4.67	4.78
	216	49.8	4.53	4.76
	217	50.1	10.07	5.00
	218	50.1	10.07	5.21
	219	50.1	10.07	4.79
	220	49.9	18.90	15.89
	221	49.9	18.77	16.71
	222	50.2	18.84	14.04

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Calcaire 1/4", Carrière Galipeau	223	50.1	0.79	0.82
	224	50.2	0.79	0.75
	225	50.0	0.79	0.73
	226	50.2	2.20	2.08
	227	50.3	2.23	2.07
	228	50.2	2.21	2.10
	229	50.0	4.37	4.40
	230	49.9	4.34	4.34
	231	50.1	4.35	4.37
	232	49.9	9.38	8.84
	233	49.9	9.32	8.77
	234	50.0	9.35	8.84
	235	49.8	18.22	17.60
	236	50.1	18.15	17.74
	237	49.9	18.19	16.85

Tableau A2.4 Résultats des essais d'adsorption (3/3)

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Gravier 5 mm, Carrière Sables L.G.	238	49.9	1.03	1.18
	239	50.1	0.92	1.06
	240	49.9	0.98	1.15
	241	50.1	2.51	2.47
	242	50.0	2.37	2.43
	243	50.0	2.44	2.43
	244	50.1	4.63	4.66
	245	50.0	4.61	4.76
	246	49.9	4.62	4.80
	247	50.1	9.80	9.93
	248	50.1	9.66	9.59
	249	49.9	9.73	9.93
	250	50.0	19.45	19.59
	251	50.1	18.90	19.38
	252	50.0	19.18	19.45

Matériau	# Essai	Poids g	Conc.initiale mg P/L	Conc.finale mg P/L
Shale, Écosse	253	50.1	0.79	0.14
	254	50.0	0.79	0.07
	255	50.0	0.79	0.09
	256	50.0	2.08	0.66
	257	50.1	2.08	0.68
	258	50.1	2.08	0.66
	259	49.9	4.43	2.01
	260	50.0	4.43	2.26
	261	49.9	4.43	2.33
	262	49.9	8.29	5.27
	263	49.9	8.29	5.34
	264	50.0	8.29	5.96
	265	50.0	17.74	13.29
	266	50.1	17.74	13.70
	267	49.9	17.74	13.49



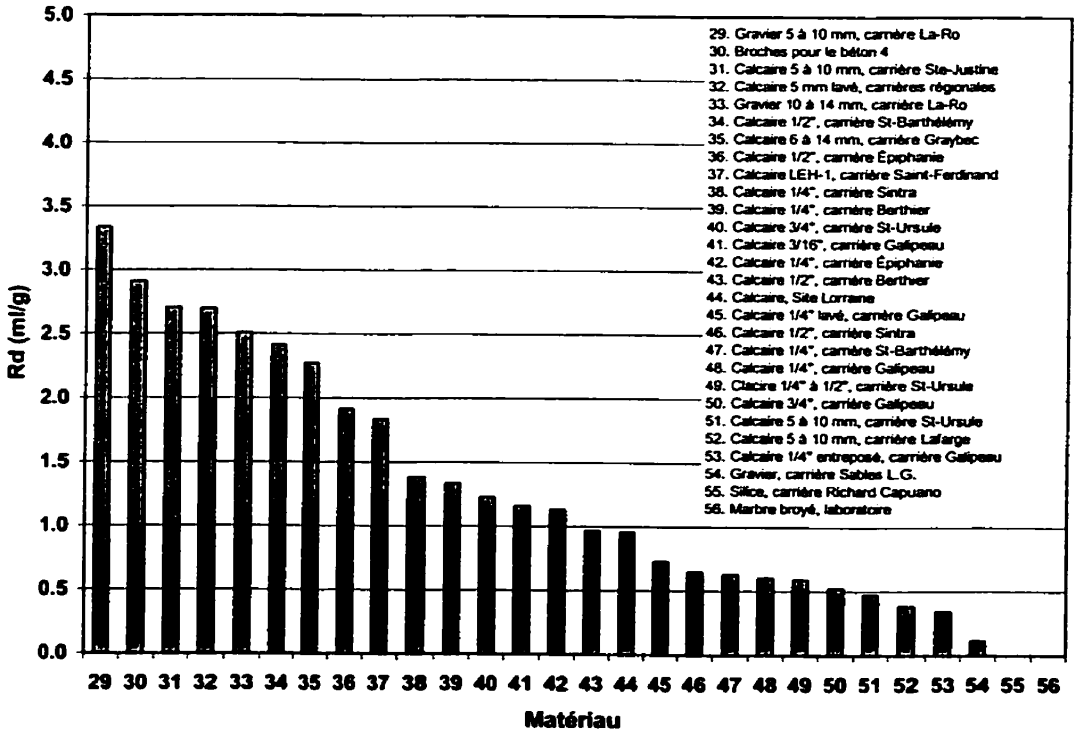


Figure A2.1 Résultats des essais d'adsorption en flacons

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (1/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Saint-Ferdinand (LEH-1)
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	5
Masse de la tare (g)	133.03
Masse initiale de la tare + matériau (g)	242.43
Masse finale de la tare + matériau (g)	242.43

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	7		
No de la tare	3		
Masse humide du matériau (g)	35.619		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.619		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.712		
pH initial	5.35		
pH final	9.42		
ΔpH	4.07		
T initiale (°C)	21.1		
T finale (°C)	21.1		
ΔT° (°C)	0.0		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	0.991		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.8		
Rd moyen (ml/g)	1.8		

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.082		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Épiphanie, 1/4"
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	1
Masse de la tare (g)	131.96
Masse initiale de la tare + matériau (g)	253.98
Masse finale de la tare + matériau (g)	253.98

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	4		
No de la tare	2		
Masse humide du matériau (g)	36.584		
Masse sèche du matériau Ms (g)	36.584		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.732		
pH initial	5.35		
pH final	9.62		
ΔpH	4.27		
T initiale (°C)	21.2		
T finale (°C)	21.1		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.027		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.1		
Rd moyen (ml/g)	1.1		

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (2/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Sintra, St-Jacques, 1/4"
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	3
Masse de la tare (g)	134.31
Masse initiale de la tare + matériau (g)	245.45
Masse finale de la tare + matériau (g)	245.45

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	3		
No de la tare	12		
Masse humide du matériau (g)	35.406		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.406		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.708		
pH initial	5.35		
pH final	9.26		
ΔpH	3.91		
T initiale (°C)	21.1		
T finale (°C)	21.2		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.015		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.4		
Rd moyen (ml/g)	1.4		

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Berthier, Ste-Élizabeth, 1/4"
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.3
No de la tare	6
Masse de la tare (g)	131.98
Masse initiale de la tare + matériau (g)	237.98
Masse finale de la tare + matériau (g)	237.71

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	1		
No de la tare	13		
Masse humide du matériau (g)	35.663		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.572		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.711		
pH initial	5.35		
pH final	9.20		
ΔpH	3.85		
T initiale (°C)	21.2		
T finale (°C)	20.7		
ΔT° (°C)	0.5		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.017		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.3		
Rd moyen (ml/g)	1.3		

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (3/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Galipeau, 1/4" lavé
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	4
Masse de la tare (g)	134.34
Masse initiale de la tare + matériau (g)	268.06
Masse finale de la tare + matériau (g)	267.93

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	11		
No de la tare	6		
Masse humide du matériau (g)	36.610		
Masse sèche du matériau Ms (g)	36.574		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.731		
pH initial	5.35		
pH final	8.62		
ΔpH	3.27		
T initiale (°C)	21.2		
T finale (°C)	20.6		
ΔT° (°C)	0.6		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.047		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.7		
Rd moyen (ml/g)	0.7		

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière St-Ursule de St-Barthélémy, 5-10mm
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.02
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	134.08
Masse initiale de la tare + matériau (g)	300.29
Masse finale de la tare + matériau (g)	300.26

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	
Durée de l'essai (h) :	

ESSAI

No de l'essai	13		
No de la tare	8		
Masse humide du matériau (g)	35.696		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.690		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.714		
pH initial	5.35		
pH final	9.30		
ΔpH	3.95		
T initiale (°C)	21.1		
T finale (°C)	20.8		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.060		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.5		
Rd moyen (ml/g)	0.5		

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (4/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Saint-Ferdinand (LEH-2)
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.04
No de la tare	8
Masse de la tare (g)	131.98
Masse initiale de la tare + matériau (g)	265.42
Masse finale de la tare + matériau (g)	265.37

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	6	50	64
No de la tare	1	6	2
Masse humide du matériau (g)	37.113	34.921	34.985
Masse sèche du matériau Ms (g)	37.099	34.921	34.985
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.742	0.698	0.700
pH initial	5.35	5.87	6.13
pH final	9.28	9.22	9.38
ΔpH	3.93	3.35	3.25
T initiale (°C)	21.2	22.5	22.3
T finale (°C)	20.8	21.9	22.1
ΔT° (°C)	0.4	0.6	0.2
Concentration initiale (mg/l)	1.073	1.098	1.014
Concentration finale B (mg/l)	0.674	0.644	0.550
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	12.2	14.0	16.5
Rd moyen (ml/g)		14.2	

TÉMOIN

No du témoin	10-15-20	58-59-60	73-74-75
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.35	5.87	6.13
pH final	7.11	6.26	6.96
ΔpH	1.76	0.39	0.85
T initiale (°C)	21.0	22.5	22.3
T finale (°C)	20.9	21.8	23.1
ΔT° (°C)	0.1	0.7	0.8
Concentration initiale (mg/l)	1.073	1.098	1.014
Concentration finale A (mg/l)	1.085	1.094	1.005

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Berthier, Ste-Élizabeth, 1/2"
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.2
No de la tare	13
Masse de la tare (g)	131.53
Masse initiale de la tare + matériau (g)	243.15
Masse finale de la tare + matériau (g)	242.89

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	8		
No de la tare	4		
Masse humide du matériau (g)	35.847		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.764		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.715		
pH initial	5.35		
pH final	9.41		
ΔpH	4.06		
T initiale (°C)	21.2		
T finale (°C)	21.1		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.035		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.0		
Rd moyen (ml/g)		1.0	

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (5/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant des carrières régionales, 5mm pas lavé

Manipulation : AD et CF

Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	12
Masse de la tare (g)	131.23
Masse initiale de la tare + matériau (g)	245.78
Masse finale de la tare + matériau (g)	245.61

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	51	65	136
No de la tare	2	6	9
Masse humide du matériau (g)	35.022	35.283	34.971
Masse sèche du matériau Ms (g)	34.970	35.231	34.919
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.699	0.705	0.698
pH initial	5.87	6.13	6.13
pH final	8.80	8.97	8.78
ΔpH	2.93	2.84	2.65
T initiale (°C)	22.5	22.3	24.0
T finale (°C)	21.9	22.4	21.6
ΔT° (°C)	0.6	0.1	2.4
Concentration initiale (mg/l)	1.098	1.014	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.802	0.775	0.757
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	7.3	5.9	7.1
Rd moyen (ml/g)		6.8	

TÉMOIN

No du témoin	58-59-60	73-74-75	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.87	6.13	6.13
pH final	6.26	6.98	6.91
ΔpH	0.39	0.85	0.78
T initiale (°C)	22.5	22.3	24.0
T finale (°C)	21.8	23.1	22.2
ΔT° (°C)	0.7	0.8	1.8
Concentration initiale (mg/l)	1.098	1.014	1.021
Concentration finale A (mg/l)	1.094	1.005	1.025

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière St-Ursule Thomas Bellemare, Louisville, 1/4"-1/2"

Manipulation : AD et CF

Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	7
Masse de la tare (g)	132.8
Masse initiale de la tare + matériau (g)	300.03
Masse finale de la tare + matériau (g)	299.88

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	12		
No de la tare	7		
Masse humide du matériau (g)	35.857		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.825		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.716		
pH initial	5.35		
pH final	9.24		
ΔpH	3.89		
T initiale (°C)	21.1		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.2		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	1.054		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.6		
Rd moyen (ml/g)		0.6	

TÉMOIN

No du témoin			
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	21.0		
ΔT° (°C)	0.0		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (6/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière St-Barthélémy, 1/4"
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.2
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	134.1
Masse initiale de la tare + matériau (g)	317.86
Masse finale de la tare + matériau (g)	317.52

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	16		
No de la tare	12		
Masse humide du matériau (g)	35.891		
Masse sèche du matériau **Ms** (g)	35.825		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.716		
pH initial	6.06		
pH final	9.54		
ΔpH	3.48		
T initiale (°C)	21.7		
T finale (°C)	21.5		
ΔT° (°C)	0.2		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale **B** (mg/l)	0.988		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.6		
Rd moyen (ml/g)	0.6		

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale **A** (mg/l)	1.019		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Sintra St-Jacques, 1/2"
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	4
Masse de la tare (g)	134.35
Masse initiale de la tare + matériau (g)	279.86
Masse finale de la tare + matériau (g)	279.67

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	17		
No de la tare	4		
Masse humide du matériau (g)	35.121		
Masse sèche du matériau **Ms** (g)	35.075		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.702		
pH initial	6.06		
pH final	9.37		
ΔpH	3.31		
T initiale (°C)	21.5		
T finale (°C)	21.6		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale **B** (mg/l)	0.987		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.6		
Rd moyen (ml/g)	0.6		

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale **A** (mg/l)	1.019		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (7/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Épiphanie, 1/2"
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	1
Masse de la tare (g)	132.34
Masse initiale de la tare + matériau (g)	269.65
Masse finale de la tare + matériau (g)	269.48

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	18		
No de la tare	13		
Masse humide du matériau (g)	35.545		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.501		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.710		
pH initial	6.06		
pH final	9.52		
ΔpH	3.46		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale B (mg/l)	0.930		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.9		
Rd moyen (ml/g)	1.9		

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale A (mg/l)	1.019		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Continental Shawinigan, Thomas Bellemare, Louisville, 3/4"
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.05
No de la tare	15
Masse de la tare (g)	132.22
Masse initiale de la tare + matériau (g)	285.79
Masse finale de la tare + matériau (g)	285.72

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	19		
No de la tare	14		
Masse humide du matériau (g)	35.273		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.257		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.705		
pH initial	6.06		
pH final	8.30		
ΔpH	2.24		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	22.1		
ΔT° (°C)	0.5		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale B (mg/l)	0.962		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.2		
Rd moyen (ml/g)	1.2		

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale A (mg/l)	1.021		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (8/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière St-Barthélémy, 1/2"
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.2
No de la tare	7
Masse de la tare (g)	132.79
Masse initiale de la tare + matériau (g)	283.86
Masse finale de la tare + matériau (g)	283.6

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	20		
No de la tare	2		
Masse humide du matériau (g)	35.667		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.606		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.712		
pH initial	6.06		
pH final	9.50		
ΔpH	3.4		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale B (mg/l)	0.911		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	2.4		
Rd moyen (ml/g)		2.4	

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale (mg/l)	1.021		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Graybec, 6-14 mm
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	8
Masse de la tare (g)	131.98
Masse initiale de la tare + matériau (g)	313.77
Masse finale de la tare + matériau (g)	313.65

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	21	52	
No de la tare	6	1	
Masse humide du matériau (g)	35.340	35.295	
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.317	35.295	
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.706	0.706	
pH initial	6.06	5.87	
pH final	9.47	9.40	
ΔpH	3.41	3.53	
T initiale (°C)	21.7	22.5	
T finale (°C)	21.5	22.0	
ΔT° (°C)	0.2	0.5	
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	
Concentration finale B (mg/l)	0.895	1.007	
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	2.8	1.7	
Rd moyen (ml/g)		2.3	

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30	58-59-60	
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	
pH initial	6.06	5.87	
pH final	6.43	6.26	
ΔpH	0.37	0.39	
T initiale (°C)	21.6	22.5	
T finale (°C)	21.7	21.8	
ΔT° (°C)	0.1	0.7	
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	
Concentration finale A (mg/l)	1.021	1.094	

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (9/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Galipeau, 3/16"
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.01
No de la tare	9
Masse de la tare (g)	132.25
Masse initiale de la tare + matériau (g)	298.5
Masse finale de la tare + matériau (g)	298.49

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	25		
No de la tare	7		
Masse humide du matériau (g)	35.434		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.432		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.709		
pH initial	6.06		
pH final	9.15		
ΔpH	3.09		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.5		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale B (mg/l)	0.965		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.2		
Rd moyen (ml/g)	1.2		

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale (mg/l)	1.021		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Galipeau, 3/4" pas lavé
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.05
No de la tare	3
Masse de la tare (g)	134.3
Masse initiale de la tare + matériau (g)	281.63
Masse finale de la tare + matériau (g)	281.56

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	26		
No de la tare	9		
Masse humide du matériau (g)	36.667		
Masse sèche du matériau Ms (g)	36.650		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.733		
pH initial	6.06		
pH final	9.25		
ΔpH	3.19		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.6		
ΔT° (°C)	0.0		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale B (mg/l)	0.995		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.5		
Rd moyen (ml/g)	0.5		

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.06		
pH final	6.43		
ΔpH	0.37		
T initiale (°C)	21.6		
T finale (°C)	21.7		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.023		
Concentration finale A (mg/l)	1.021		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (10/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant des Carrières Régionales, 5 mm lavé
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	6
Masse de la tare (g)	131.99
Masse initiale de la tare + matériau (g)	290.07
Masse finale de la tare + matériau (g)	289.95

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	56	69	137
No de la tare	14	13	13
Masse humide du matériau (g)	35.081	34.945	35.229
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.054	34.918	35.202
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701	0.698	0.704
pH initial	5.87	6.13	6.13
pH final	8.68	9.08	9.28
ΔpH	2.81	2.95	3.15
T initiale (°C)	22.5	22.3	24.0
T finale (°C)	21.8	22.8	21.6
ΔT° (°C)	0.7	0.5	2.4
Concentration initiale (mg/l)	1.098	1.014	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.992	0.861	1.028
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	2.1	3.3	-0.1
Rd moyen (ml/g)		2.7	

TÉMOIN

No du témoin	58-59-60	73-74-75	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.87	6.13	6.13
pH final	6.26	6.98	6.91
ΔpH	0.39	0.85	0.78
T initiale (°C)	22.5	22.3	24.0
T finale (°C)	21.8	23.1	22.2
ΔT° (°C)	0.7	0.8	1.8
Concentration initiale (mg/l)	1.098	1.014	1.021
Concentration finale A (mg/l)	1.094	1.005	1.025

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Galipeau, 1/4" lavé par la pluie
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	7
Masse de la tare (g)	132.84
Masse initiale de la tare + matériau (g)	246.90
Masse finale de la tare + matériau (g)	246.83

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	31		
No de la tare	7		
Masse humide du matériau (g)	35.352		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.330		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.707		
pH initial	6.18		
pH final	9.09		
ΔpH	2.91		
T initiale (°C)	22.1		
T finale (°C)	22.8		
ΔT° (°C)	0.7		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	1.027		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.3		
Rd moyen (ml/g)		0.3	

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.18		
pH final			
ΔpH			
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (11/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Galipeau, 1/4" pas lavé
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	1
Masse de la tare (g)	132.35
Masse initiale de la tare + matériau (g)	238.79
Masse finale de la tare + matériau (g)	238.68

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	32		
No de la tare	5		
Masse humide du matériau (g)	35.177		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.141		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.703		
pH initial	6.18		
pH final	9.19		
ΔpH	3.01		
T initiale (°C)	22.1		
T finale (°C)	22.5		
ΔT° (°C)	0.4		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	1.014		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.6		
Rd moyen (ml/g)		0.6	

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.18		
pH final			
ΔpH			
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Ste-Justine (Ville de Mtl), 2,5-5 mm (abrasif)
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	12
Masse de la tare (g)	131.27
Masse initiale de la tare + matériau (g)	386.46
Masse finale de la tare + matériau (g)	386.08

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	34	70	84
No de la tare		9	7
Masse humide du matériau (g)	35.243	35.227	35.280
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.191	35.175	35.227
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.704	0.703	0.705
pH initial	6.18	6.13	6.09
pH final	9.24	9.32	9.35
ΔpH	3.06	3.19	3.26
T initiale (°C)	22.1	22.3	22.5
T finale (°C)	22.2	23.0	23.0
ΔT° (°C)	0.1	0.7	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	1.014	0.952
Concentration finale B (mg/l)	0.741	0.706	0.699
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	8.2	8.5	7.1
Rd moyen (ml/g)		7.9	

TÉMOIN

No du témoin	44-45	73-74-75	88-89-91
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.18	6.13	6.09
pH final		6.98	6.8
ΔpH		0.85	0.71
T initiale (°C)	22.0	22.3	22.5
T finale (°C)	22.3	23.1	23
ΔT° (°C)	0.3	0.8	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	1.014	0.952
Concentration finale A (mg/l)	1.045	1.005	0.946

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (12/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Ste-Justine (Ville de Mtl), 0-5 mm (Criblure)
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.5
No de la tare	6
Masse de la tare (g)	132.00
Masse initiale de la tare + matériau (g)	554.55
Masse finale de la tare + matériau (g)	552.39

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	35	71	83
No de la tare		3	13
Masse humide du matériau (g)	35.732	35.035	35.675
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.549	34.856	35.493
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.711	0.697	0.710
pH initial	6.18	6.13	6.09
pH final	9.44	9.52	9.52
ΔpH	3.26	3.39	3.43
T initiale (°C)	22.1	22.3	22.5
T finale (°C)	22.4	22.8	23.0
ΔT° (°C)	0.3	0.5	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	1.014	0.952
Concentration finale B (mg/l)	0.558	0.621	0.544
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	17.4	12.4	14.8
Rd moyen (ml/g)		14.9	

TÉMOIN

No du témoin	44-45	73-74-75	88-89-91
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.18	6.13	6.09
pH final		6.96	6.8
ΔpH		0.85	0.71
T initiale (°C)	22.0	22.3	22.5
T finale (°C)	22.3	23.1	23
ΔT° (°C)	0.3	0.8	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	1.014	0.952
Concentration finale A (mg/l)	1.045	1.005	0.946

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Ste-Justine (Ville de Mtl), 5-10 mm
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.2
No de la tare	8
Masse de la tare (g)	131.96
Masse initiale de la tare + matériau (g)	495.38
Masse finale de la tare + matériau (g)	494.52

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	36		
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.122		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.039		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701		
pH initial	6.18		
pH final	9.46		
ΔpH	3.28		
T initiale (°C)	22.1		
T finale (°C)	22.4		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	0.920		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	2.7		
Rd moyen (ml/g)		2.7	

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.18		
pH final			
ΔpH			
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (13/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Lafarge, 5-10 mm (80% de 5 mm)
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.3
No de la tare	4
Masse de la tare (g)	134.32
Masse initiale de la tare + matériau (g)	506.97
Masse finale de la tare + matériau (g)	505.84

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	37		
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.175		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.068		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701		
pH initial	6.18		
pH final	9.82		
ΔpH	3.64		
T initiale (°C)	22.1		
T finale (°C)	21.9		
ΔT° (°C)	0.2		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	1.025		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.4		
Rd moyen (ml/g)	0.4		

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.18		
pH final			
ΔpH			
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Lafarge, Poussière
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.8
No de la tare	15
Masse de la tare (g)	132.21
Masse initiale de la tare + matériau (g)	349.57
Masse finale de la tare + matériau (g)	347.86

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	38		
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.443		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.164		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.703		
pH initial	6.18		
pH final	9.55		
ΔpH	3.37		
T initiale (°C)	22.1		
T finale (°C)	22.5		
ΔT° (°C)	0.4		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	0.087		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	220.1		
Rd moyen (ml/g)	220.1		

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.18		
pH final			
ΔpH			
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (14/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Ste-Justine (Ville de Mtl), 0-2,5 mm
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	4.8
No de la tare	9
Masse de la tare (g)	132.25
Masse initiale de la tare + matériau (g)	584.43
Masse finale de la tare + matériau (g)	563.74

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	39	72	78
No de la tare		8	9
Masse humide du matériau (g)	35.579	35.128	35.701
Masse sèche du matériau Ms (g)	33.951	33.521	34.067
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.679	0.670	0.681
pH initial	6.18	6.13	6.09
pH final	9.04	8.97	8.89
ΔpH	2.86	2.84	2.80
T initiale (°C)	22.1	22.3	22.5
T finale (°C)	22.5	22.9	23.0
ΔT° (°C)	0.4	0.6	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	1.014	0.952
Concentration finale B (mg/l)	0.113	0.253	0.135
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	164.9	59.4	120.1
Rd moyen (ml/g)		114.8	

TÉMOIN

No du témoin	44-45	73-74-75	88-89-91
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.18	6.13	6.09
pH final		6.98	6.80
ΔpH		0.85	0.71
T initiale (°C)	22.0	22.3	22.5
T finale (°C)	22.3	23.1	23.0
ΔT° (°C)	0.3	0.8	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	1.014	0.952
Concentration finale A (mg/l)	1.045	1.005	0.946

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Calcaire provenant de la carrière Lafarge, 0-5 mm (Criblure)
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	1.0
No de la tare	3
Masse de la tare (g)	134.30
Masse initiale de la tare + matériau (g)	576.95
Masse finale de la tare + matériau (g)	572.68

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	40	79	80
No de la tare		8	8
Masse humide du matériau (g)	35.526	35.223	35.254
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.183	34.883	34.914
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.704	0.698	0.698
pH initial	6.18	6.09	6.09
pH final	9.44	9.56	9.52
ΔpH	3.26	3.47	3.43
T initiale (°C)	22.0	22.5	22.5
T finale (°C)	22.7	23.0	23.0
ΔT° (°C)	0.7	0.5	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	0.952	0.952
Concentration finale B (mg/l)	0.337	0.406	0.307
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	42.0	26.6	41.6
Rd moyen (ml/g)		36.7	

TÉMOIN

No du témoin	44-45	88-89-91	88-89-91
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.18	6.09	6.09
pH final		6.8	6.8
ΔpH		0.71	0.71
T initiale (°C)	22.0	22.5	22.5
T finale (°C)	22.3	23	23
ΔT° (°C)	0.3	0.5	0.5
Concentration initiale (mg/l)	1.064	0.952	0.952
Concentration finale A (mg/l)	1.045	0.946	0.946

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (15/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Carbonate de calcium, marble chips
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.02
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	134.06
Masse initiale de la tare + matériau (g)	495.92
Masse finale de la tare + matériau (g)	495.86

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	41		
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.175		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.169		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.703		
pH initial	6.18		
pH final	9.43		
ΔpH	3.25		
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.9		
ΔT° (°C)	0.9		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	1.084		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	-0.7		
Rd moyen (ml/g)	-0.7		

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	6.18		
pH final			
ΔpH			
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Pierre calcaire du site Lorraine
Manipulation : AD et CF
Date :

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	12
Masse de la tare (g)	131.26
Masse initiale de la tare + matériau (g)	288.49
Masse finale de la tare + matériau (g)	288.49

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	49		
No de la tare	4		
Masse humide du matériau (g)	37.766		
Masse sèche du matériau Ms (g)	37.766		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.755		
pH initial	5.87		
pH final	9.36		
ΔpH	3.49		
T initiale (°C)	22.5		
T finale (°C)	22.0		
ΔT° (°C)	0.5		
Concentration initiale (mg/l)	1.098		
Concentration finale B (mg/l)	1.044		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	1.0		
Rd moyen (ml/g)	1.0		

TÉMOIN

No du témoin	58-59-60		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.87		
pH final	6.26		
ΔpH	0.39		
T initiale (°C)	22.5		
T finale (°C)	21.8		
ΔT° (°C)	0.7		
Concentration initiale (mg/l)	1.098		
Concentration finale A (mg/l)	1.094		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (16/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Scorie provenant de la carrière Richard Capuano
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.3
No de la tare	12
Masse de la tare (g)	131.26
Masse initiale de la tare + matériau (g)	283.13
Masse finale de la tare + matériau (g)	282.69

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	23	54	67
No de la tare	1	5	12
Masse humide du matériau (g)	35.169	35.138	35.191
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.067	35.036	35.089
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701	0.701	0.702
pH initial	6.06	5.87	6.13
pH final	9.00	8.89	8.95
ΔpH	2.94	3.02	2.82
T initiale (°C)	21.7	22.5	22.3
T finale (°C)	21.6	22.0	22.7
ΔT° (°C)	0.1	0.5	0.4
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	1.014
Concentration finale B (mg/l)	0.736	0.737	0.688
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	7.7	9.7	9.2
Rd moyen (ml/g)		8.9	

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30	58-59-60	73-74-75
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.06	5.87	6.13
pH final	6.43	6.26	6.98
ΔpH	0.37	0.39	0.85
T initiale (°C)	21.6	22.5	22.3
T finale (°C)	21.7	21.8	23.1
ΔT° (°C)	0.1	0.7	0.8
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	1.014
Concentration finale A (mg/l)	1.019	1.094	1.005

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Silice de la carrière Richard Capuano
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.03
No de la tare	5
Masse de la tare (g)	133.09
Masse initiale de la tare + matériau (g)	227.07
Masse finale de la tare + matériau (g)	227.04

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	33		
No de la tare	8		
Masse humide du matériau (g)	35.706		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.697		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.714		
pH initial	6.06		
pH final	7.11		
ΔpH	1.05		
T initiale (°C)	22.1		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.2		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale B (mg/l)	1.065		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	-0.4		
Rd moyen (ml/g)		-0.4	

TÉMOIN

No du témoin	44-45		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial			
pH final			
ΔpH	0.00		
T initiale (°C)	22.0		
T finale (°C)	22.3		
ΔT° (°C)	0.3		
Concentration initiale (mg/l)	1.064		
Concentration finale A (mg/l)	1.045		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (17/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Scorie d'acier provenant de Ispat-Sidbec, 0-5mm
Manipulation : AD et CF
Date : 01/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	5.5
No de la tare	4
Masse de la tare (g)	134.34
Masse initiale de la tare + matériau (g)	348.37
Masse finale de la tare + matériau (g)	337.28

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	91	92	142
No de la tare	3	3	8
Masse humide du matériau (g)	35.520	35.505	37.188
Masse sèche du matériau Ms (g)	33.680	33.665	35.261
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.674	0.673	0.705
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	11.20	11.23	11.11
ΔpH	5.18	5.21	4.98
T initiale (°C)	22.0	22.0	24.0
T finale (°C)	20.8	20.9	22.0
ΔT° (°C)	1.2	1.1	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.951	0.951	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.047	0.053	0.073
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	385.4	339.5	260.8
Rd moyen (ml/g)		328.6	

TÉMOIN

No du témoin	103-4-5	103-4-5	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	6.31	6.31	6.91
ΔpH	0.29	0.29	0.78
T initiale (°C)	22.0	22.0	24.0
T finale (°C)	21.5	21.5	22.2
ΔT° (°C)	0.5	0.5	1.8
Concentration initiale (mg/l)	0.951	0.951	1.021
Concentration finale A (mg/l)	0.953	0.953	1.025

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Scorie d'acier provenant de Ispat-Sidbec, 0-5mm
Manipulation : AD et CF
Date :

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	8
Masse de la tare (g)	4.3
Masse initiale de la tare + matériau (g)	334.9
Masse finale de la tare + matériau (g)	334.9

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	166	167	168
No de la tare	9	9	9
Masse humide du matériau (g)	35.229	35.427	36.611
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.229	35.427	34.714
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.705	0.709	0.694
pH initial	5.48	5.48	5.48
pH final	10.82	10.84	10.8
ΔpH	5.34	5.36	5.32
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.4	22.1	21.9
ΔT° (°C)	1.6	1.9	2.1
Concentration initiale (mg/l)	20.103	20.103	20.103
Concentration finale B (mg/l)	0.091	0.089	0.130
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	4396.8	4496.0	3071.7
Rd moyen (ml/g)		3988.2	

TÉMOIN

No du témoin	178	179	180
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.48	5.48	5.48
pH final	5.54	5.44	5.44
ΔpH	0.06	0.04	0.04
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.4	22.2	22.1
ΔT° (°C)	1.6	1.8	1.9
Concentration initiale (mg/l)	20.103	20.103	20.103
Concentration finale (mg/l)	20.360	19.961	19.968
Concentration finale moyenne A (mg/l)		20.096	

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (18/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Scorie d'acier provenant de Ispat-Sidbec, 2,5-10mm
Manipulation : AD et CF
Date : 01/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	1.5
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	134.12
Masse initiale de la tare + matériau (g)	379.76
Masse finale de la tare + matériau (g)	376.11

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	93	94	143
No de la tare	6	6	1
Masse humide du matériau (g)	36.253	35.241	35.061
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.714	34.717	34.540
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.714	0.694	0.691
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	11.18	11.21	11.15
ΔpH	5.16	5.19	5.02
T initiale (°C)	22.0	22.0	24.0
T finale (°C)	21.1	21.1	22
ΔT° (°C)	0.9	0.9	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.951	0.951	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.056	0.051	0.065
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	320.2	353.6	295.4
Rd moyen (ml/g)		323.1	

TÉMOIN

No du témoin	103-4-5	103-4-5	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	6.31	6.31	6.91
ΔpH	0.29	0.29	0.78
T initiale (°C)	22.0	22.0	24.0
T finale (°C)	21.5	21.5	22.2
ΔT° (°C)	0.5	0.5	1.8
Concentration initiale (mg/l)	0.951	0.951	1.021
Concentration finale A (mg/l)	0.953	0.953	1.025

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Scorie d'acier provenant de Ispat-Sidbec, 5-14mm
Manipulation : AD et CF
Date : 01/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	1.5
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	134.12
Masse initiale de la tare + matériau (g)	379.76
Masse finale de la tare + matériau (g)	376.11

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	63	95	144
No de la tare	1	2	5
Masse humide du matériau (g)	35.251	35.153	36.620
Masse sèche du matériau Ms (g)	34.727	34.631	36.076
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.695	0.693	0.722
pH initial	6.13	6.02	6.13
pH final	10.90	10.90	10.87
ΔpH	4.77	4.88	4.74
T initiale (°C)	22.3	22.0	24.0
T finale (°C)	22.3	21.2	22.0
ΔT° (°C)	0.0	0.8	2.0
Concentration initiale (mg/l)	1.014	0.951	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.074	0.066	0.085
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	251.5	268.7	221.2
Rd moyen (ml/g)		247.1	

TÉMOIN

No du témoin	73-74-75	103-4-5	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.13	6.02	6.13
pH final	6.98	6.31	6.91
ΔpH	0.85	0.29	0.78
T initiale (°C)	22.3	22.0	24.0
T finale (°C)	23.1	21.5	22.2
ΔT° (°C)	0.8	0.5	1.8
Concentration initiale (mg/l)	1.014	0.951	1.021
Concentration finale A (mg/l)	1.005	0.953	1.025

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (19/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Scories d'acier QIT
Manipulation : AD et CF
Date : 18/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	106	107	
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	36.515	35.066	
Masse sèche du matériau Ms (g)	36.515	35.066	
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.730	0.701	
pH initial	6.02	6.02	
pH final	9.93	9.99	
ΔpH	3.91	3.97	
T initiale (°C)	21.4	21.4	
T finale (°C)	20.5	20.3	
ΔT° (°C)	0.9	1.1	
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	
Concentration finale B (mg/l)	0.055	0.045	
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	317.0	391.9	
Rd moyen (ml/g)		354.4	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-121	
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	
pH initial	6.02	6.02	
pH final	6.48	6.48	
ΔpH	0.46	0.46	
T initiale (°C)	21.4	21.4	
T finale (°C)	20.2	20.2	
ΔT° (°C)	1.2	1.2	
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Chrysotile 4T-300
Manipulation : AD et CF
Date : 10/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	108	109	145
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.080	35.391	35.896
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.080	35.391	35.896
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.702	0.708	0.718
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	10.01	9.99	9.99
ΔpH	3.99	3.97	3.86
T initiale (°C)	21.4	21.4	24.0
T finale (°C)	19.9	20.4	21.6
ΔT° (°C)	1.5	1.0	2.4
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.035	0.060	0.064
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	509.5	288.9	300.3
Rd moyen (ml/g)		366.2	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-121	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	6.48	6.48	6.91
ΔpH	0.46	0.46	0.78
T initiale (°C)	21.4	21.4	24.0
T finale (°C)	20.2	20.2	22.2
ΔT° (°C)	1.2	1.2	1.8
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	1.021
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	1.025

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (20/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Résidu conv.45 Black Lake
Manipulation : AD et CF
Date : 10/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	110	111	146
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.176	35.897	35.897
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.176	35.897	35.897
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.704	0.718	0.718
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	10.11	10.14	10.00
ΔpH	4.09	4.12	3.87
T initiale (°C)	21.4	21.4	24.0
T finale (°C)	20.2	20.0	22.1
ΔT° (°C)	1.2	1.4	1.9
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.048	0.031	0.067
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	366.1	577.8	286.0
Rd moyen (ml/g)		410.0	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-121	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	6.48	6.48	6.91
ΔpH	0.46	0.46	0.78
T initiale (°C)	21.4	21.4	24.0
T finale (°C)	20.2	20.2	22.2
ΔT° (°C)	1.2	1.2	1.8
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	1.021
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	1.025

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Résidu 0-3/4" Black Lake
Manipulation : AD et CF
Date : 10/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.7
No de la tare	14
Masse de la tare (g)	4.32
Masse initiale de la tare + matériau (g)	146.13
Masse finale de la tare + matériau (g)	145.2

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	112	113	151
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.056	35.689	35.340
Masse sèche du matériau Ms (g)	34.826	35.455	35.108
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.697	0.709	0.702
pH initial	6.02	6.02	5.93
pH final	9.89	10.24	9.04
ΔpH	3.87	4.22	3.11
T initiale (°C)	21.4	21.4	23.8
T finale (°C)	20.3	20.2	22.3
ΔT° (°C)	1.1	1.2	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	0.989
Concentration finale B (mg/l)	0.061	0.064	0.070
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	208.8	269.6	262.4
Rd moyen (ml/g)		246.9	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-120	163-4-5
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	5.93
pH final	6.48	6.48	6.10
ΔpH	0.46	0.46	0.17
T initiale (°C)	21.4	21.4	23.8
T finale (°C)	20.2	20.2	22.3
ΔT° (°C)	1.2	1.2	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	0.989
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	0.988

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (21/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Résidu 1/8" Bell
Manipulation : AD et CF
Date : 10/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.4
No de la tare	1
Masse de la tare (g)	4.35
Masse initiale de la tare + matériau (g)	154.25
Masse finale de la tare + matériau (g)	153.71

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	114	115	152
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.102	35.005	35.720
Masse sèche du matériau Ms (g)	34.976	34.879	35.591
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.700	0.698	0.712
pH initial	6.02	6.02	5.93
pH final	10.00	10.19	9.89
ΔpH	3.98	4.17	3.96
T initiale (°C)	21.4	21.4	23.8
T finale (°C)	19.9	20.2	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.2	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	0.989
Concentration finale B (mg/l)	0.058	0.053	0.068
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	299.5	329.7	270.7
Rd moyen (ml/g)		314.6	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-121	163-4-5
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	5.93
pH final	6.48	6.48	6.10
ΔpH	0.46	0.46	0.17
T initiale (°C)	21.4	21.4	23.8
T finale (°C)	20.2	20.2	22.3
ΔT° (°C)	1.2	1.2	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	0.989
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	0.988

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Résidu 1/4" Bell
Manipulation : AD et CF
Date : 10/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.6
No de la tare	8
Masse de la tare (g)	4.29
Masse initiale de la tare + matériau (g)	133.97
Masse finale de la tare + matériau (g)	133.26

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	116	117	153
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.228	35.209	35.360
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.035	35.016	35.166
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701	0.700	0.703
pH initial	6.02	6.02	5.93
pH final	9.69	9.82	9.66
ΔpH	3.67	3.80	3.73
T initiale (°C)	21.4	21.4	23.8
T finale (°C)	20.1	20.0	22.3
ΔT° (°C)	1.3	1.4	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	0.989
Concentration finale B (mg/l)	0.048	0.059	0.131
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	366.1	294.1	130.9
Rd moyen (ml/g)		330.1	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-121	163-4-5
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	5.93
pH final	6.48	6.48	6.10
ΔpH	0.46	0.46	0.17
T initiale (°C)	21.4	21.4	23.8
T finale (°C)	20.2	20.2	22.3
ΔT° (°C)	1.2	1.2	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	0.989
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	0.988

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (22/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Chrysotile 7D-300
Manipulation : AD et CF
Date : 10/02/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	106	107	147
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	36.515	35.066	35.393
Masse sèche du matériau Ms (g)	36.515	35.066	35.393
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.730	0.701	0.708
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	9.93	9.99	9.98
ΔpH	3.91	3.97	3.85
T initiale (°C)	21.4	21.4	24.0
T finale (°C)	20.5	20.3	21.9
ΔT° (°C)	0.9	1.1	2.1
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.055	0.045	0.044
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	317.0	391.9	445.9
Rd moyen (ml/g)		384.9	

TÉMOIN

No du témoin	118-9-120	118-9-121	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.02	6.02	6.13
pH final	6.48	6.48	6.91
ΔpH	0.46	0.46	0.78
T initiale (°C)	21.4	21.4	24.0
T finale (°C)	20.2	20.2	22.2
ΔT° (°C)	1.2	1.2	1.8
Concentration initiale (mg/l)	0.947	0.947	1.021
Concentration finale A (mg/l)	0.927	0.927	1.025

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Broches pour le béton 1
Manipulation : AD et CF
Date :

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	121	122	123
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.059	35.021	35.126
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.059	35.021	35.126
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701	0.700	0.703
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	6.42	6.51	6.63
ΔpH	0.35	0.44	0.56
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale B (mg/l)	0.025	0.049	0.057
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	712.0	353.5	301.1
Rd moyen (ml/g)		532.7	

TÉMOIN

No du témoin	133	134	135
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	6.73	6.30	6.21
ΔpH	0.66	0.23	0.14
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale (mg/l)	0.911	0.915	0.919
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.915	

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (23/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Broches pour le béton 2
Manipulation : AD et CF
Date :

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	124	125	126
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.069	35.023	35.020
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.069	35.023	35.020
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701	0.700	0.700
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	6.96	7.75	7.44
ΔpH	0.89	1.68	1.37
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale B (mg/l)	0.756	0.619	0.712
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	4.2	9.6	5.7
Rd moyen (ml/g)		6.9	

TÉMOIN

No du témoin	133	134	135
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	6.73	6.30	6.21
ΔpH	0.66	0.23	0.14
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale (mg/l)	0.911	0.915	0.919
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.915	

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Broches pour le béton 3
Manipulation : AD et CF
Date :

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	127	128	129
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.693	35.603	35.360
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.693	35.603	35.360
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.714	0.712	0.707
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	9.77	9.56	9.52
ΔpH	3.70	3.49	3.45
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale B (mg/l)	0.055	0.075	0.081
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	312.7	224.0	205.9
Rd moyen (ml/g)		268.4	

TÉMOIN

No du témoin	133	134	135
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	6.73	6.30	6.21
ΔpH	0.66	0.23	0.14
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale (mg/l)	0.911	0.915	0.919
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.915	

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (24/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Broches pour le béton 4
Manipulation : AD et CF
Date :

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	130	131	132
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.032	35.335	34.981
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.032	35.335	34.981
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.701	0.707	0.700
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	8.88	8.67	8.83
ΔpH	2.81	2.60	2.76
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale B (mg/l)	0.758	0.844	0.768
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	4.1	1.7	3.8
Rd moyen (ml/g)		2.9	

TÉMOIN

No du témoin	133	134	135
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.07	6.07	6.07
pH final	6.73	6.30	6.21
ΔpH	0.66	0.23	0.14
T initiale (°C)	24.0	24.0	24.0
T finale (°C)	22.0	22.0	22.0
ΔT° (°C)	2.0	2.0	2.0
Concentration initiale (mg/l)	0.898	0.898	0.898
Concentration finale (mg/l)	0.911	0.915	0.919
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.915	

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Boues de traitement des eaux acides, Noranda
Manipulation : AD et CF
14/03/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	202.4
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	160.79
Masse initiale de la tare + matériau (g)	550.94
Masse finale de la tare + matériau (g)	289.79

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	154	155	156
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	127.870	109.050	95.310
Masse sèche du matériau Ms (g)	42.279	36.057	31.513
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.846	0.721	0.630
pH initial	5.93	5.93	5.93
pH final	9.68	9.67	9.68
ΔpH	3.75	3.74	3.75
T initiale (°C)	23.8	23.8	23.8
T finale (°C)	22.3	22.3	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.5	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.989	0.989	0.989
Concentration finale B (mg/l)	0.040	0.031	0.029
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (l/g)	474.2	617.6	661.6
Rd moyen (l/g)		584.5	

TÉMOIN

No du témoin	163	164	165
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.93	5.93	5.93
pH final	6.14	6.03	6.12
ΔpH	0.21	0.10	0.19
T initiale (°C)	23.8	23.8	23.8
T finale (°C)	22.3	22.3	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.5	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.989	0.989	0.989
Concentration finale (mg/l)	0.987	0.983	0.995
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.988	

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (25/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Alumine activée en granules
Manipulation : AD et CF
Date : 14/03/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	7
Masse de la tare (g)	4.34
Masse initiale de la tare + matériau (g)	24.74
Masse finale de la tare + matériau (g)	24.74

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	157	158	159
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	34.590	35.010	35.000
Masse sèche du matériau Ms (g)	34.590	35.010	35.000
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.692	0.700	0.700
pH initial	5.93	5.93	5.93
pH final	10.07	10.01	9.97
ΔpH	4.14	4.08	4.04
T initiale (°C)	23.8	23.8	23.8
T finale (°C)	22.3	22.3	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.5	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.989	0.989	0.989
Concentration finale B (mg/l)	0.030	0.039	0.043
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (l/g)	638.9	486.8	439.7
Rd moyen (l/g)		521.8	

TÉMOIN

No du témoin	163	164	165
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.93	5.93	5.93
pH final	6.14	6.03	6.12
ΔpH	0.21	0.10	0.19
T initiale (°C)	23.8	23.8	23.8
T finale (°C)	22.3	22.3	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.5	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.989	0.989	0.989
Concentration finale (mg/l)	0.987	0.983	0.995
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.988	

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Granules de fer modifiées au soufre
Manipulation : AD et CF
Date : 14/03/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	
Masse de la tare (g)	
Masse initiale de la tare + matériau (g)	
Masse finale de la tare + matériau (g)	

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	160	161	162
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	5.010	5.004	5.000
Masse sèche du matériau Ms (g)	5.010	5.004	5.000
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.100	0.100	0.100
pH initial	5.93	5.93	5.93
pH final	10.15	10.14	10.15
ΔpH	4.22	4.21	4.22
T initiale (°C)	23.8	23.8	23.8
T finale (°C)	22.3	22.3	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.5	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.989	0.989	0.989
Concentration finale B (mg/l)	0.051	0.041	0.053
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (l/g)	367.6	462.1	353.0
Rd moyen (l/g)		394.2	

TÉMOIN

No du témoin	163	164	165
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	5.93	5.93	5.93
pH final	6.14	6.03	6.12
ΔpH	0.21	0.10	0.19
T initiale (°C)	23.8	23.8	23.8
T finale (°C)	22.3	22.3	22.3
ΔT° (°C)	1.5	1.5	1.5
Concentration initiale (mg/l)	0.989	0.989	0.989
Concentration finale (mg/l)	0.987	0.983	0.995
Concentration finale moyenne A (mg/l)		0.988	

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (26/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Gravier provenant de la carrière La-Ro, 10-14mm
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.3
No de la tare	9
Masse de la tare (g)	132.32
Masse initiale de la tare + matériau (g)	240.32
Masse finale de la tare + matériau (g)	240.01

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	2		
No de la tare	14		
Masse humide du matériau (g)	35.717		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.614		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.712		
pH initial	5.35		
pH final	7.26		
ΔpH	1.91		
T initiale (°C)	21.2		
T finale (°C)	21.1		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	0.964		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	2.5		
Rd moyen (ml/g)	2.5		

TÉMOIN

No du témoin	########		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Gravier provenant de la carrière La-Ro, 5-10mm
Manipulation : AD et CF
Date : 18/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.1
No de la tare	15
Masse de la tare (g)	132.19
Masse initiale de la tare + matériau (g)	277.48
Masse finale de la tare + matériau (g)	277.32

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	14		
No de la tare	9		
Masse humide du matériau (g)	36.004		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.964		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.719		
pH initial	5.35		
pH final	6.95		
ΔpH	1.60		
T initiale (°C)	21.1		
T finale (°C)	20.5		
ΔT° (°C)	0.6		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale B (mg/l)	0.930		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	3.3		
Rd moyen (ml/g)	3.3		

TÉMOIN

No du témoin	########		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.35		
pH final	7.11		
ΔpH	1.76		
T initiale (°C)	21.0		
T finale (°C)	20.9		
ΔT° (°C)	0.1		
Concentration initiale (mg/l)	1.073		
Concentration finale A (mg/l)	1.085		

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (27/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Sable provenant de la carrière L.G.
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.0
No de la tare	4
Masse de la tare (g)	134.32
Masse initiale de la tare + matériau (g)	338.64
Masse finale de la tare + matériau (g)	338.57

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	47		
No de la tare	3		
Masse humide du matériau (g)	35.122		
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.110		
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.702		
pH initial	5.87		
pH final	6.87		
ΔpH	1.00		
T initiale (°C)	22.5		
T finale (°C)	22.0		
ΔT° (°C)	0.5		
Concentration initiale (mg/l)	1.098		
Concentration finale B (mg/l)	1.088		
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	0.1		
Rd moyen (ml/g)		0.1	

TÉMOIN

No du témoin	58-59-60		
Volume de la solution (l)	0.700		
pH initial	5.87		
pH final	6.26		
ΔpH	0.39		
T initiale (°C)	22.5		
T finale (°C)	21.8		
ΔT° (°C)	0.7		
Concentration initiale (mg/l)	1.098		
Concentration finale A (mg/l)	1.094		

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Sable du projet Agropur
Manipulation : AD et CF
Date : 25/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	4.1
No de la tare	2
Masse de la tare (g)	134.08
Masse initiale de la tare + matériau (g)	575.24
Masse finale de la tare + matériau (g)	558.03

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	81	82	140
No de la tare			
Masse humide du matériau (g)	35.079	35.974	35.316
Masse sèche du matériau Ms (g)	33.711	34.571	33.938
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.674	0.691	0.679
pH initial	6.09	6.09	6.13
pH final	6.92	6.53	7.42
ΔpH	0.83	0.44	1.29
T initiale (°C)	22.5	22.5	24
T finale (°C)	23.0	23.0	21.8
ΔT° (°C)	0.5	0.5	2.2
Concentration initiale (mg/l)	0.952	0.952	1.021
Concentration finale B (mg/l)	0.569	0.534	0.671
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	13.3	15.4	10.6
Rd moyen (ml/g)		13.1	

TÉMOIN

No du témoin	88-89-91	88-89-91	148-49-50
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.09	6.09	6.13
pH final	6.8	6.8	6.91
ΔpH	0.71	0.71	0.78
T initiale (°C)	22.5	22.5	24.0
T finale (°C)	23	23.0	22.2
ΔT° (°C)	0.5	0.5	1.8
Concentration initiale (mg/l)	0.952	0.952	1.021
Concentration finale A (mg/l)	0.946	0.946	1.025

Tableau A2.5 Essais en flacons – coefficient Rd (28/28)

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Schiste provenant d'Écosse
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	1.8
No de la tare	5
Masse de la tare (g)	133.03
Masse initiale de la tare + matériau (g)	218.53
Masse finale de la tare + matériau (g)	217.05

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	24	55	68
No de la tare	5	7	7
Masse humide du matériau (g)	35.051	35.146	34.927
Masse sèche du matériau Ms (g)	34.444	34.538	34.322
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.689	0.691	0.686
pH initial	6.06	5.87	6.13
pH final	6.10	6.14	7.12
ΔpH	0.04	0.27	0.99
T initiale (°C)	21.6	22.5	22.3
T finale (°C)	22.0	22.1	22.9
ΔT° (°C)	0.4	0.4	0.6
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	1.0
Concentration finale B (mg/l)	0.328	0.316	0.305
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	42.1	49.2	45.9
Rd moyen (ml/g)		45.8	

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30	58-59-60	73-74-75
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.06	5.87	6.13
pH final	6.43	6.26	6.98
ΔpH	0.37	0.39	0.85
T initiale (°C)	21.6	22.5	22.3
T finale (°C)	21.7	21.8	23.1
ΔT° (°C)	0.1	0.7	0.8
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	1.014
Concentration finale A (mg/l)	1.019	1.094	1.005

ESSAI D'ADSORPTION

Identification : Béton recyclé provenant des Carrières Régionales
Manipulation : AD et CF
Date : 20/01/2000

MATÉRIAU

Teneur en eau w (%)	0.3
No de la tare	13
Masse de la tare (g)	131.54
Masse initiale de la tare + matériau (g)	269.67
Masse finale de la tare + matériau (g)	269.23

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Vitesse de brassage (rpm):	170
Durée de l'essai (h) :	24

ESSAI

No de l'essai	22	53	66
No de la tare	3	8	4
Masse humide du matériau (g)	35.304	35.193	35.113
Masse sèche du matériau Ms (g)	35.192	35.081	35.113
Volume de la solution V=(Ms*20)/ρ (l)	0.704	0.702	0.702
pH initial	6.06	5.87	6.13
pH final	9.69	10.02	9.41
ΔpH	3.63	4.15	3.28
T initiale (°C)	21.7	22.5	22.3
T finale (°C)	21.5	22	22.7
ΔT° (°C)	0.2	0.5	0.4
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	1.014
Concentration finale B (mg/l)	0.214	0.176	0.566
Rd = (A - B)*V/(Ms*B) (ml/g)	75.2	104.3	15.5
Rd moyen (ml/g)		65.0	

TÉMOIN

No du témoin	28-29-30	58-59-60	73-74-75
Volume de la solution (l)	0.700	0.700	0.700
pH initial	6.06	5.87	6.13
pH final	6.43	6.26	6.98
ΔpH	0.37	0.39	0.85
T initiale (°C)	21.6	22.5	22.3
T finale (°C)	21.7	21.8	23.1
ΔT° (°C)	0.1	0.7	0.8
Concentration initiale (mg/l)	1.023	1.098	1.014
Concentration finale A (mg/l)	1.019	1.094	1.005

ANNEXE 3 – ESSAIS DE CARACTÉRISATION PHYSIQUE

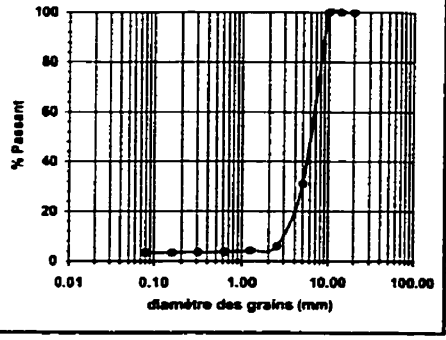
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (1/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON DESCRIPTION	Calcaire Graybec/2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
	Protocole I: Essai # 2 (0 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	99.8
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	68.8	31.1
2.50	93.8	6.0
1.250	95.6	4.2
0.630	96.2	3.6
0.315	96.3	3.5
0.160	96.5	3.3
0.080	96.5	3.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

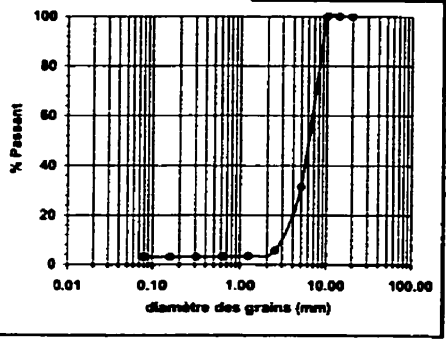
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	31.1	68.9	0.44	0.301
2.5000	6.0	25.1	0.87	0.219
1.2500	4.2	1.8	1.75	0.031
0.6300	3.6	0.6	3.46	0.021
0.3150	3.5	0.1	6.93	0.007
0.1600	3.3	0.2	13.64	0.027
0.0800	3.3	0.0	27.27	0.000
0.0462		3.3	47.24	1.562
total		100.0		2.168

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON DESCRIPTION	Calcaire Graybec/2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
	Protocole I: Essai # 2 (0 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	68.6	31.4
2.50	94.3	5.7
1.250	96.6	3.4
0.630	96.8	3.2
0.315	96.9	3.1
0.160	96.9	3.1
0.080	96.9	3.1



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

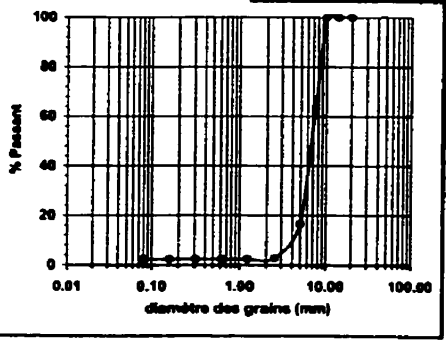
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	31.4	68.6	0.44	0.298
2.5000	5.7	25.7	0.87	0.224
1.2500	3.4	2.3	1.75	0.040
0.6300	3.2	0.2	3.46	0.007
0.3150	3.1	0.1	6.93	0.007
0.1600	3.1	0.0	13.64	0.000
0.0800	3.1	0.0	27.27	0.000
0.0462		3.1	47.24	1.464
total		100.0		2.042

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON DESCRIPTION	Calcaire Graybec/2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
	Protocole I: Essai # 3 (0 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	83.5	16.6
2.50	97.4	2.7
1.250	97.8	2.3
0.630	97.8	2.3
0.315	97.8	2.3
0.160	97.8	2.3
0.080	97.8	2.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	16.6	83.4	0.44	0.364
2.5000	2.7	13.9	0.87	0.121
1.2500	2.3	0.4	1.75	0.007
0.6300	2.3	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.3	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.3	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.3	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.3	47.24	1.086
total		100.0		1.578

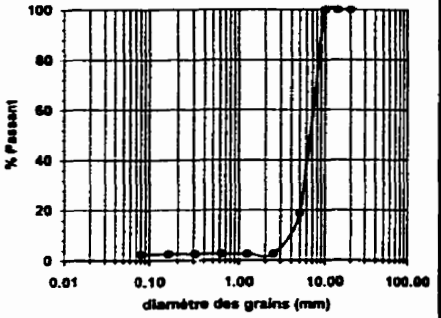
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (2/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[redacted]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[redacted]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.3
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	81.4	18.6
2.50	97.7	2.6
1.250	97.7	2.6
0.630	97.7	2.6
0.315	97.8	2.5
0.160	97.9	2.4
0.080	98.0	2.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

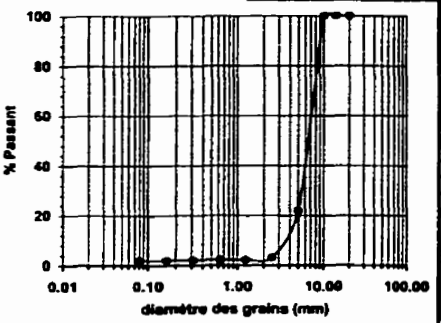
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	18.6	81.2	0.44	0.354
2.5000	2.6	16.3	0.87	0.142
1.2500	2.6	0.0	1.75	0.000
0.6300	2.6	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.5	0.1	6.93	0.007
0.1600	2.4	0.1	13.64	0.014
0.0800	2.3	0.1	27.27	0.027
0.0462		2.3	47.24	1.083
total		100.0		1.627

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[redacted]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[redacted]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	78.1	21.9
2.50	96.9	3.1
1.250	97.8	2.2
0.630	97.8	2.2
0.315	97.9	2.1
0.160	98.0	2.0
0.080	98.0	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

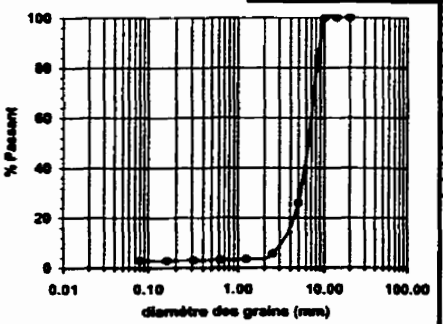
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	21.9	78.1	0.44	0.341
2.5000	3.1	18.8	0.87	0.164
1.2500	2.2	0.9	1.75	0.016
0.6300	2.2	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.1	0.1	6.93	0.007
0.1600	2.0	0.1	13.64	0.014
0.0800	2.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.0	47.24	0.945
total		100.0		1.488

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[redacted]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[redacted]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	99.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	73.9	26.0
2.50	94.3	5.6
1.250	96.4	3.5
0.630	96.8	3.1
0.315	96.9	3.0
0.160	97.0	2.9
0.080	97.0	2.9



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	26.0	74.0	0.44	0.323
2.5000	5.6	20.4	0.87	0.178
1.2500	3.5	2.1	1.75	0.037
0.6300	3.1	0.4	3.46	0.014
0.3150	3.0	0.1	6.93	0.007
0.1600	2.9	0.1	13.64	0.014
0.0800	2.9	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.9	47.24	1.371
total		100.0		1.943

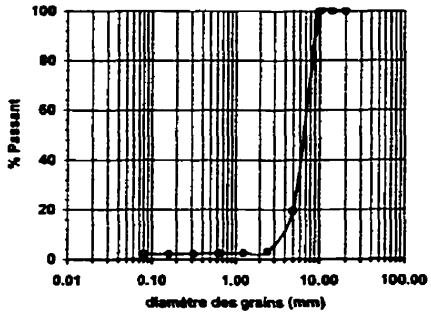
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (3/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I: [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	80.5	19.5
2.50	96.9	3.1
1.250	97.6	2.4
0.630	97.7	2.3
0.315	97.8	2.2
0.160	97.9	2.1
0.080	97.9	2.1



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

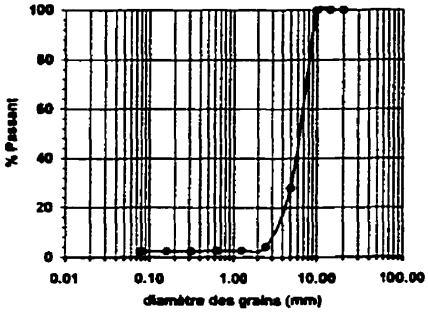
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	19.5	80.5	0.44	0.351
2.5000	3.1	16.4	0.87	0.143
1.2500	2.4	0.7	1.75	0.012
0.6300	2.3	0.1	3.46	0.003
0.3150	2.2	0.1	6.93	0.007
0.1600	2.1	0.1	13.64	0.014
0.0800	2.1	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.1	47.24	0.992
total		100.0		1.523

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I: Essai # 8 (5 mg P/E) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	72.1	28.0
2.50	95.9	4.2
1.250	97.4	2.7
0.630	97.6	2.5
0.315	97.7	2.4
0.160	97.7	2.4
0.080	97.8	2.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

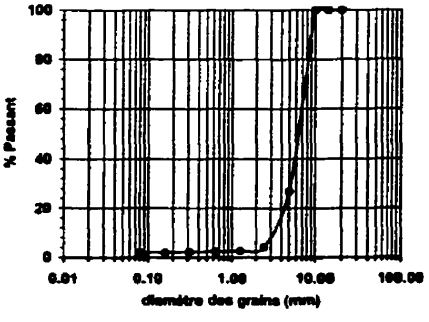
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	28.0	72.0	0.44	0.314
2.5000	4.2	23.8	0.87	0.208
1.2500	2.7	1.5	1.75	0.026
0.6300	2.5	0.2	3.46	0.007
0.3150	2.4	0.1	6.93	0.007
0.1600	2.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.3	0.1	27.27	0.027
0.0462		2.3	47.24	1.085
total		100.0		1.674

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I: Essai # 8 (5 mg P/E) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	73.2	26.8
2.50	95.8	4.2
1.250	97.3	2.7
0.630	97.7	2.3
0.315	97.9	2.1
0.160	98.0	2.0
0.080	98.0	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	26.8	73.2	0.44	0.319
2.5000	4.2	22.6	0.87	0.197
1.2500	2.7	1.5	1.75	0.026
0.6300	2.3	0.4	3.46	0.014
0.3150	2.1	0.2	6.93	0.014
0.1600	2.0	0.1	13.64	0.014
0.0800	2.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.0	47.24	0.945
total		100.0		1.529

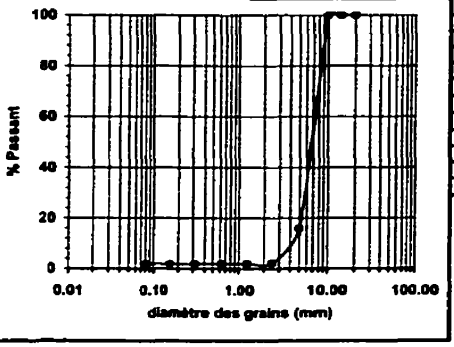
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (4/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[illegible]	Date:	14/08/1999
		Gs:	[illegible]
		$C_U = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	84.2	15.9
2.50	97.9	2.2
1.250	98.1	2.0
0.630	98.2	1.9
0.315	98.3	1.8
0.160	98.3	1.8
0.080	98.3	1.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

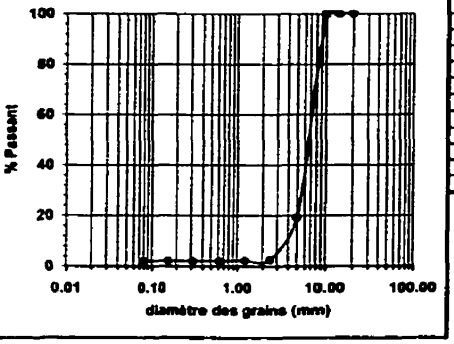
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	15.9	84.1	0.44	0.357
2.5000	2.2	13.7	0.87	0.119
1.2500	2.0	0.2	1.75	0.003
0.6300	1.9	0.1	3.46	0.003
0.3150	1.8	0.1	6.93	0.007
0.1600	1.8	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.8	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.8	47.24	0.849
total		100.0		1.350

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I; Essai #-13 (10 mg P/L) [illegible]	Date:	14/08/1999
		Gs:	[illegible]
		$C_U = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	80.9	19.2
2.50	97.5	2.6
1.250	97.9	2.2
0.630	98.0	2.1
0.315	98.0	2.1
0.160	98.0	2.1
0.080	98.1	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

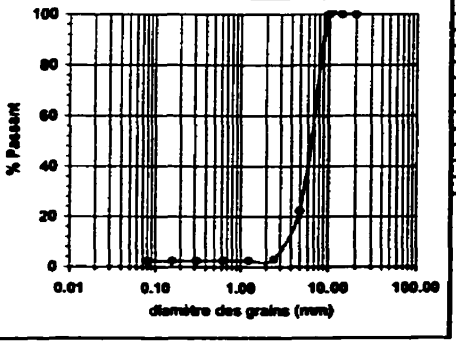
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	19.2	80.8	0.44	0.353
2.5000	2.6	16.6	0.87	0.145
1.2500	2.2	0.4	1.75	0.007
0.6300	2.1	0.1	3.46	0.003
0.3150	2.1	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.1	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.0	0.1	27.27	0.027
0.0462		2.0	47.24	0.944
total		100.0		1.479

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I; Essai #-12 (10 mg P/L) [illegible]	Date:	14/08/1999
		Gs:	[illegible]
		$C_U = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	77.8	22.2
2.50	97.0	3.0
1.250	97.6	2.4
0.630	97.6	2.4
0.315	97.7	2.3
0.160	97.7	2.3
0.080	97.7	2.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.2	77.8	0.44	0.339
2.5000	3.0	19.2	0.87	0.168
1.2500	2.4	0.6	1.75	0.010
0.6300	2.4	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.3	0.1	6.93	0.007
0.1600	2.3	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.3	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.3	47.24	1.086
total		100.0		1.611

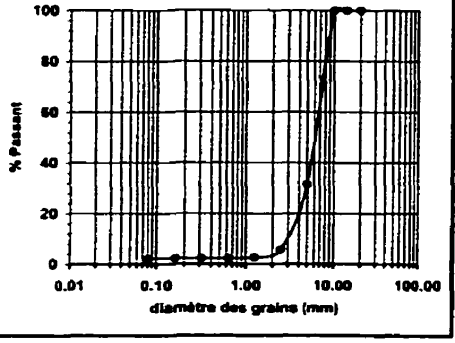
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (5/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybac 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai #:13 (30 mg/Pb)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	68.4	31.6
2.50	94.3	5.7
1.250	97.4	2.6
0.630	97.8	2.2
0.315	97.8	2.2
0.160	97.8	2.2
0.080	97.8	2.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

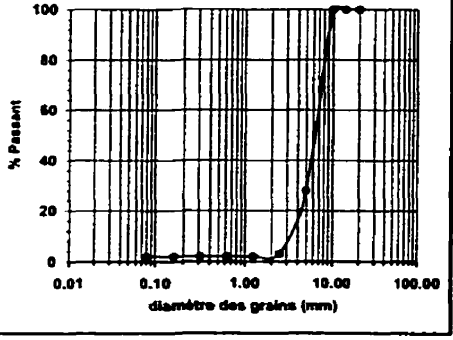
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	31.6	68.4	0.44	0.298
2.5000	5.7	25.9	0.87	0.226
1.2500	2.6	3.1	1.75	0.054
0.6300	2.2	0.4	3.46	0.014
0.3150	2.2	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.2	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.2	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.2	47.24	1.039
total		100.0		1.632

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybac 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai #:14 (30 mg/Pb)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	72.0	28.0
2.50	97.0	3.0
1.250	98.1	1.9
0.630	98.1	1.9
0.315	98.1	1.9
0.160	98.1	1.9
0.080	98.1	1.9



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

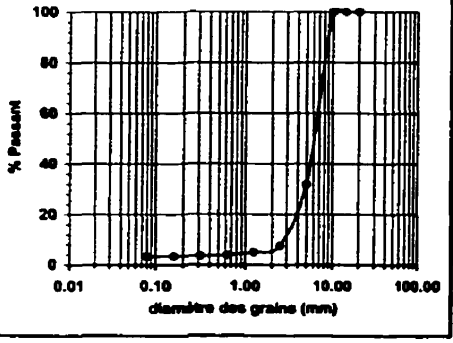
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	28.0	72.0	0.44	0.314
2.5000	3.0	25.0	0.87	0.218
1.2500	1.9	1.1	1.75	0.019
0.6300	1.9	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.9	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.9	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.9	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.9	47.24	0.898
total		100.0		1.449

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybac 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai #:15 (30 mg/Pb)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	99.8
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	68.1	31.8
2.50	92.3	7.5
1.250	94.8	5.0
0.630	95.9	3.9
0.315	96.3	3.5
0.160	96.4	3.4
0.080	96.5	3.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	31.8	68.2	0.44	0.298
2.5000	7.5	24.2	0.87	0.212
1.2500	5.0	2.5	1.75	0.044
0.6300	3.9	1.1	3.46	0.038
0.3150	3.5	0.4	6.93	0.028
0.1600	3.4	0.1	13.64	0.014
0.0800	3.3	0.1	27.27	0.027
0.0462		3.3	47.24	1.562
total		100.0		2.222

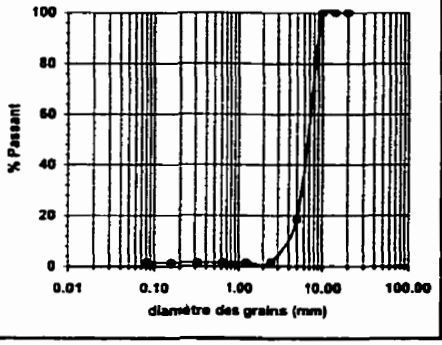
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (6/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2,5-6,3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 16 (100 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	99.8
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	81.4	18.4
2.50	98.1	1.7
1.250	98.3	1.5
0.630	98.3	1.5
0.315	98.4	1.4
0.160	98.4	1.4
0.080	98.4	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

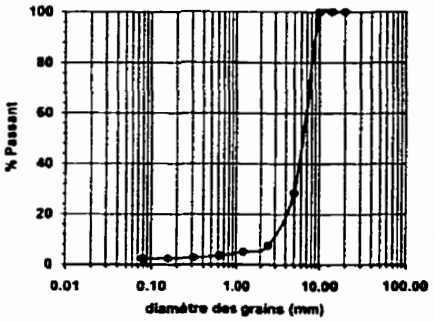
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	18.4	81.6	0.44	0.356
2.5000	1.7	16.7	0.87	0.146
1.2500	1.5	0.2	1.75	0.003
0.6300	1.5	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.4	0.1	6.93	0.007
0.1600	1.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.663
total		100.0		1.175

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2,5-6,3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 17 (100 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	71.6	28.5
2.50	92.5	7.6
1.250	95.0	5.1
0.630	96.6	3.5
0.315	97.4	2.7
0.160	97.7	2.4
0.080	97.8	2.3



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

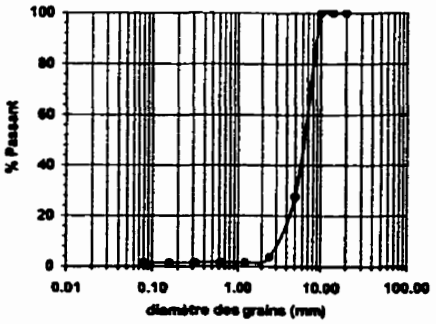
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	28.5	71.5	0.44	0.312
2.5000	7.6	20.9	0.87	0.182
1.2500	5.1	2.5	1.75	0.044
0.6300	3.5	1.6	3.46	0.055
0.3150	2.7	0.8	6.93	0.055
0.1600	2.4	0.3	13.64	0.041
0.0800	2.3	0.1	27.27	0.027
0.0462		2.3	47.24	1.085
total		100.0		1.862

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2,5-6,3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 18 (100 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	99.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	72.4	27.5
2.50	96.3	3.6
1.250	98.3	1.6
0.630	98.3	1.6
0.315	98.5	1.4
0.160	98.5	1.4
0.080	98.5	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	27.5	72.5	0.44	0.318
2.5000	3.6	23.9	0.87	0.208
1.2500	1.6	2.0	1.75	0.036
0.6300	1.6	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.4	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.662
total		100.0		1.238

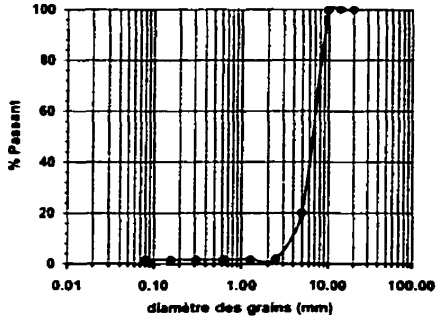
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (7/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 18 (300 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	79.9	20.1
2.50	98.1	1.9
1.250	98.3	1.7
0.630	98.4	1.6
0.315	98.4	1.6
0.160	98.4	1.6
0.080	98.4	1.6



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

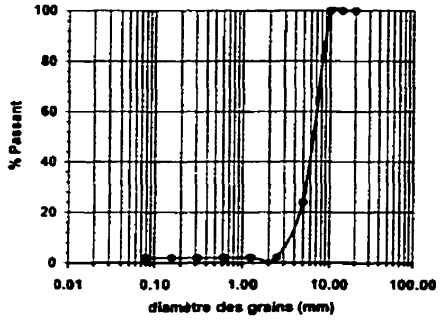
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	20.1	79.9	0.44	0.349
2.5000	1.9	18.2	0.87	0.159
1.2500	1.7	0.2	1.75	0.003
0.6300	1.6	0.1	3.46	0.003
0.3150	1.6	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.6	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.6	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.6	47.24	0.756
total		100.0		1.270

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 20 (300 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	2.750
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.2
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	76.3	23.9
2.50	98.0	2.2
1.250	98.1	2.1
0.630	98.2	2.0
0.315	98.2	2.0
0.160	98.2	2.0
0.080	98.2	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

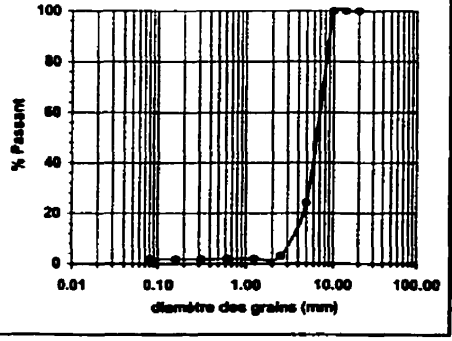
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	23.9	76.1	0.44	0.332
2.5000	2.2	21.7	0.87	0.189
1.2500	2.1	0.1	1.75	0.002
0.6300	2.0	0.1	3.46	0.003
0.3150	2.0	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.0	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.0	47.24	0.943
total		100.0		1.469

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 21 (300 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	2.750
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	75.8	24.3
2.50	97.1	3.0
1.250	98.1	2.0
0.630	98.3	1.8
0.315	98.4	1.7
0.160	98.4	1.7
0.080	98.4	1.7



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	24.3	75.7	0.44	0.330
2.5000	3.0	21.3	0.87	0.186
1.2500	2.0	1.0	1.75	0.017
0.6300	1.8	0.2	3.46	0.007
0.3150	1.7	0.1	6.93	0.007
0.1600	1.7	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.7	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.7	47.24	0.802
total		100.0		1.350

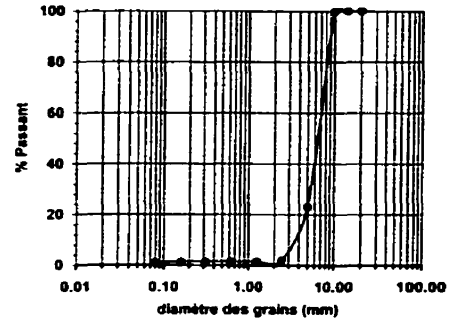
Tableau A3.1 Résultats des essais granulométriques – protocole I (8/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 22 (1000 mg/P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.2
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	77.1	23.1
2.50	98.3	1.9
1.250	98.6	1.4
0.630	98.6	1.4
0.315	98.6	1.4
0.160	98.9	1.3
0.080	99.1	1.1



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

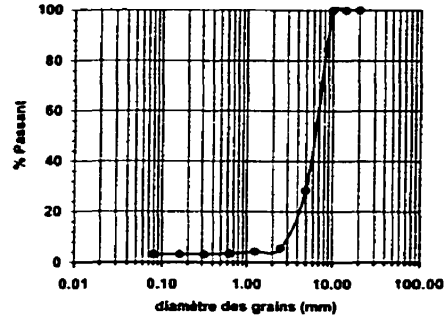
Diam.	% passant	% passant	xS	Ss*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	23.1	76.9	0.44	0.336
2.5000	1.9	21.2	0.87	0.185
1.2500	1.4	0.5	1.75	0.009
0.6300	1.4	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.3	0.1	13.64	0.014
0.0800	1.1	0.2	27.27	0.054
0.0462		1.1	47.24	0.519
total		100.0		1.116

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 23 (1000 mg/P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	71.7	28.3
2.50	94.4	5.6
1.250	95.8	4.2
0.630	96.6	3.4
0.315	96.8	3.2
0.160	96.9	3.1
0.080	96.9	3.1



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

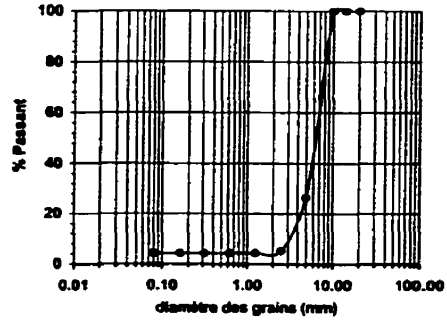
Diam.	% passant	% passant	xS	Ss*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	28.3	71.7	0.44	0.313
2.5000	5.6	22.7	0.87	0.198
1.2500	4.2	1.4	1.75	0.024
0.6300	3.4	0.8	3.46	0.028
0.3150	3.2	0.2	6.93	0.014
0.1600	3.1	0.1	13.64	0.014
0.0800	3.1	0.0	27.27	0.000
0.0462		3.1	47.24	1.464
total		100.0		2.056

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole I, Essai # 24 (1000 mg/P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	73.6	26.4
2.50	94.8	5.2
1.250	95.7	4.3
0.630	95.7	4.3
0.315	95.7	4.3
0.160	95.7	4.3
0.080	95.8	4.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Ss*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	26.4	73.6	0.44	0.321
2.5000	5.2	21.2	0.87	0.185
1.2500	4.3	0.9	1.75	0.016
0.6300	4.3	0.0	3.46	0.000
0.3150	4.3	0.0	6.93	0.000
0.1600	4.3	0.0	13.64	0.000
0.0800	4.2	0.1	27.27	0.027
0.0462		4.2	47.24	1.984
total		100.0		2.533

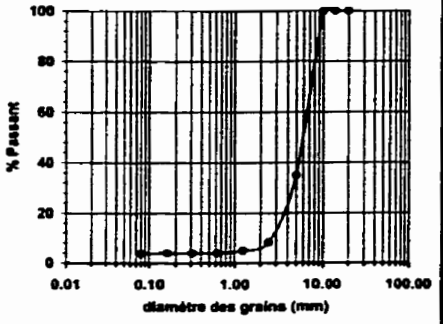
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (1/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.2
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	32.7	34.9
2.50	46.0	8.4
1.250	47.7	5.0
0.630	48.2	4.0
0.315	48.2	4.0
0.160	48.2	4.0
0.080	48.3	3.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

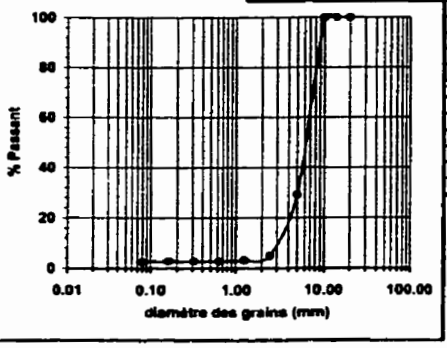
Diam.	% passant	% passant	xS	Ss*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	34.9	65.1	0.44	0.284
2.5000	8.4	26.5	0.87	0.231
1.2500	5.0	3.4	1.75	0.059
0.6300	4.0	1.0	3.46	0.034
0.3150	4.0	0.0	6.93	0.000
0.1600	4.0	0.0	13.64	0.000
0.0800	3.8	0.2	27.27	0.054
0.0462		3.8	47.24	1.788
total		100.0		2.451

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai # 28 (0 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	35.4	29.1
2.50	47.4	5.0
1.250	48.3	3.2
0.630	48.5	2.8
0.315	48.5	2.8
0.160	48.5	2.8
0.080	48.6	2.6



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

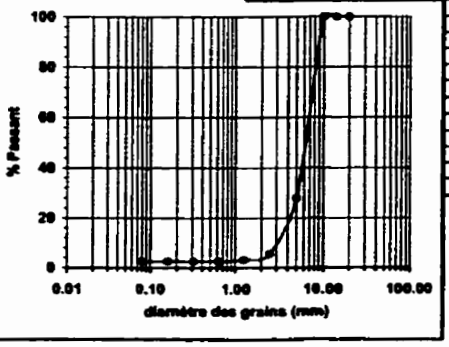
Diam.	% passant	% passant	xS	Ss*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	29.1	70.9	0.44	0.310
2.5000	5.0	24.0	0.87	0.210
1.2500	3.2	1.8	1.75	0.031
0.6300	2.8	0.4	3.46	0.014
0.3150	2.8	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.8	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.6	0.2	27.27	0.056
0.0462		2.6	47.24	1.231
total		100.0		1.858

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai # 28 (0 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	36.0	27.9
2.50	47.1	5.6
1.250	48.3	3.2
0.630	48.6	2.6
0.315	48.6	2.6
0.160	48.6	2.6
0.080	48.6	2.6



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Ss*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	27.9	72.1	0.44	0.315
2.5000	5.6	22.2	0.87	0.194
1.2500	3.2	2.4	1.75	0.042
0.6300	2.6	0.6	3.46	0.021
0.3150	2.6	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.6	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.6	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.6	47.24	1.231
total		100.0		1.802

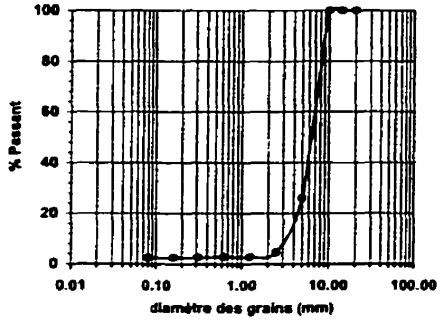
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (2/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybac 2.5-6.3	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai # 28 (2.5 mg/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	37.1	25.9
2.50	47.8	4.6
1.250	48.7	2.8
0.630	48.7	2.8
0.315	48.8	2.6
0.160	48.9	2.4
0.080	48.9	2.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

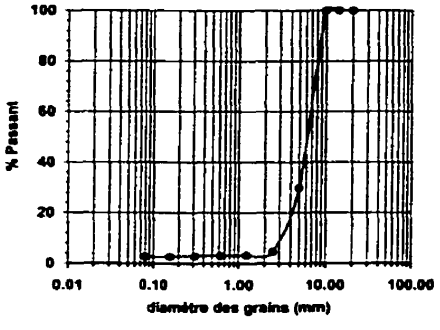
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	25.9	74.1	0.44	0.323
2.5000	4.6	21.4	0.87	0.186
1.2500	2.8	1.8	1.75	0.031
0.6300	2.8	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.6	0.2	6.93	0.014
0.1600	2.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	2.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.4	47.24	1.131
total		100.0		1.713

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybac 2.5-6.3	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai # 29 (2.5 mg/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	35.1	29.8
2.50	47.7	4.6
1.250	48.4	3.2
0.630	48.5	3.0
0.315	48.6	2.8
0.160	48.7	2.6
0.080	48.7	2.6



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

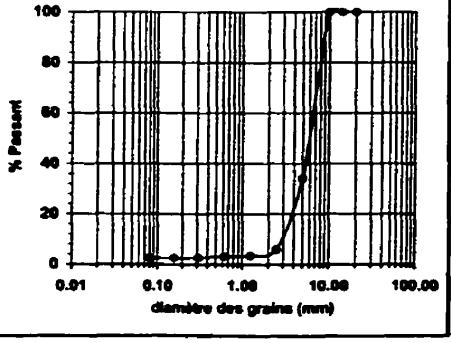
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	29.8	70.2	0.44	0.306
2.5000	4.6	25.2	0.87	0.220
1.2500	3.2	1.4	1.75	0.024
0.6300	3.0	0.2	3.46	0.007
0.3150	2.8	0.2	6.93	0.014
0.1600	2.6	0.2	13.64	0.027
0.0800	2.6	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.6	47.24	1.228
total		100.0		1.827

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybac 2.5-6.3	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai # 30 (2.5 mg/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	32.9	34.2
2.50	47.0	6.0
1.250	48.3	3.4
0.630	48.5	3.0
0.315	48.7	2.6
0.160	48.8	2.4
0.080	48.8	2.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	34.2	65.8	0.44	0.287
2.5000	6.0	28.2	0.87	0.246
1.2500	3.4	2.6	1.75	0.045
0.6300	3.0	0.4	3.46	0.014
0.3150	2.6	0.4	6.93	0.028
0.1600	2.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	2.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.4	47.24	1.134
total		100.0		1.781

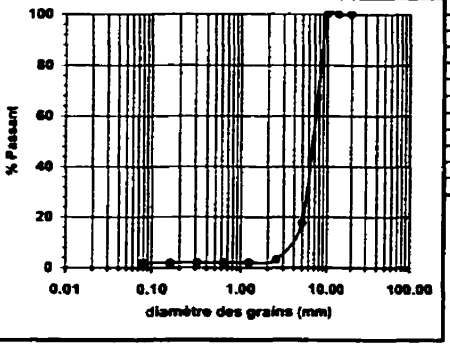
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (3/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire/Graybacq 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II, Essai #32 (5 mg P/L)	Date:	14/08/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	41.1	17.8
2.50	48.4	3.2
1.250	49.0	2.0
0.630	49.0	2.0
0.315	49.0	2.0
0.160	49.1	1.8
0.080	49.1	1.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

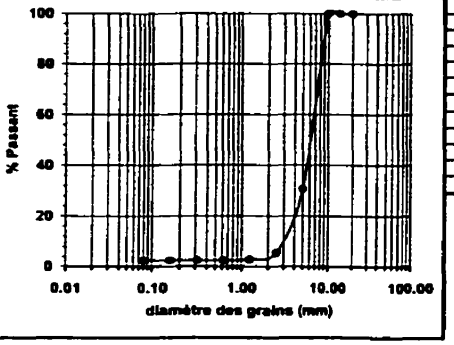
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	17.8	82.2	0.44	0.359
2.5000	3.2	14.6	0.87	0.127
1.2500	2.0	1.2	1.75	0.021
0.6300	2.0	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.0	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.8	0.2	13.64	0.027
0.0800	1.8	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.8	47.24	0.850
total		100.0		1.385

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybacq 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II, Essai #32 (5 mg P/L)	Date:	14/08/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	34.6	30.7
2.50	47.2	5.4
1.250	48.5	2.8
0.630	48.7	2.4
0.315	48.7	2.4
0.160	48.7	2.4
0.080	48.7	2.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

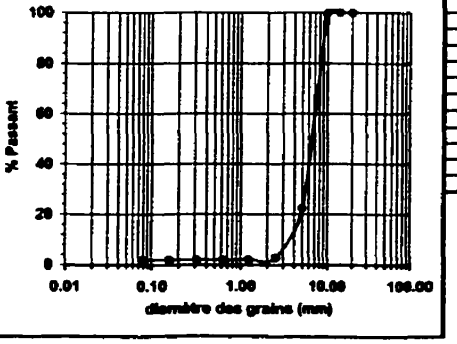
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	30.7	69.3	0.44	0.303
2.5000	5.4	25.3	0.87	0.220
1.2500	2.8	2.6	1.75	0.045
0.6300	2.4	0.4	3.46	0.014
0.3150	2.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.4	47.24	1.136
total		100.0		1.718

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybacq 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II, Essai #32 (5 mg P/L)	Date:	14/08/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.3
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	39.1	22.3
2.50	48.9	2.8
1.250	49.3	2.0
0.630	49.4	1.8
0.315	49.4	1.8
0.160	49.4	1.8
0.080	49.4	1.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.3	77.7	0.44	0.339
2.5000	2.8	19.5	0.87	0.170
1.2500	2.0	0.8	1.75	0.014
0.6300	1.8	0.2	3.46	0.007
0.3150	1.8	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.8	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.8	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.8	47.24	0.845
total		100.0		1.375

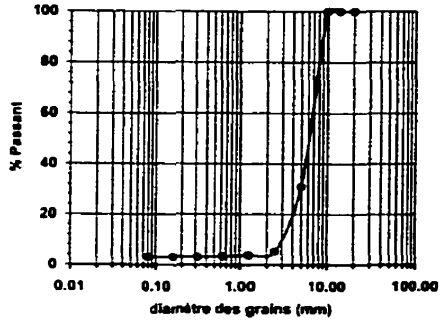
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (4/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II: Essai #34 (10 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Se	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	34.6	30.9
2.50	47.5	5.2
1.250	48.2	3.8
0.630	48.5	3.2
0.315	48.6	3.0
0.160	48.6	3.0
0.080	48.6	3.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

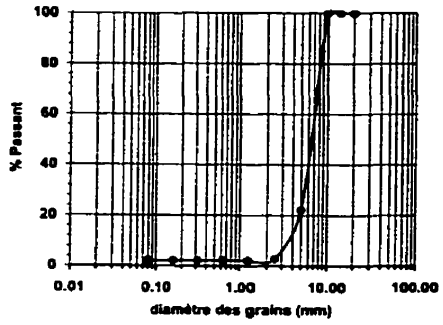
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	30.9	69.1	0.44	0.301
2.5000	5.2	25.7	0.87	0.225
1.2500	3.8	1.4	1.75	0.024
0.6300	3.2	0.6	3.46	0.021
0.3150	3.0	0.2	6.93	0.014
0.1600	3.0	0.0	13.64	0.000
0.0800	3.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		3.0	47.24	1.414
total		100.0		1.989

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II, Essai #35 (10 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Se	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	38.9	22.0
2.50	48.5	2.8
1.250	48.9	2.0
0.630	48.9	2.0
0.315	48.9	2.0
0.160	48.9	2.0
0.080	48.9	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

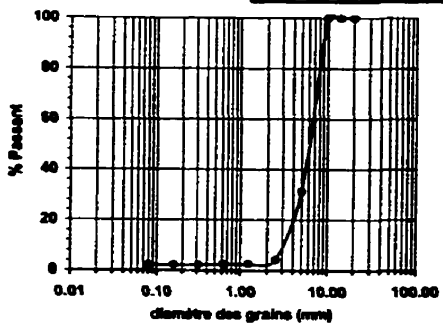
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.0	78.0	0.44	0.340
2.5000	2.8	19.2	0.87	0.168
1.2500	2.0	0.8	1.75	0.014
0.6300	2.0	0.0	3.46	0.000
0.3150	2.0	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.0	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.0	47.24	0.947
total		100.0		1.469

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II: Essai #36 (10 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Se	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.2
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	34.5	31.3
2.50	48.1	4.2
1.250	48.9	2.6
0.630	49.0	2.4
0.315	49.1	2.2
0.160	49.1	2.2
0.080	49.1	2.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	31.3	68.7	0.44	0.300
2.5000	4.2	27.1	0.87	0.236
1.2500	2.6	1.6	1.75	0.028
0.6300	2.4	0.2	3.46	0.007
0.3150	2.2	0.2	6.93	0.014
0.1600	2.2	0.0	13.64	0.000
0.0800	2.2	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.2	47.24	1.035
total		100.0		1.639

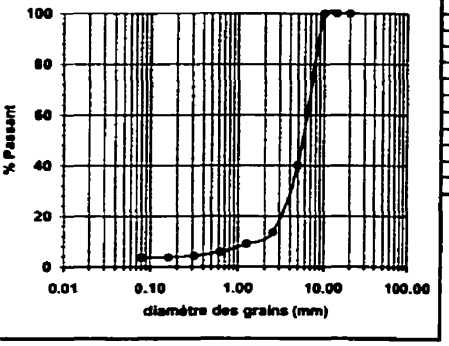
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (5/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai #38 (30 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	29.9	40.2
2.50	43.2	13.6
1.250	45.5	9.0
0.630	47.1	5.8
0.315	47.9	4.2
0.160	48.2	3.6
0.080	48.2	3.6



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

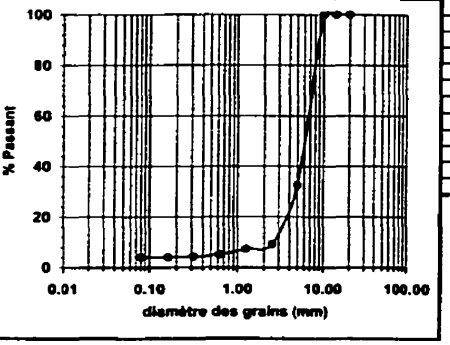
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	40.2	59.8	0.44	0.261
2.5000	13.6	26.6	0.87	0.232
1.2500	9.0	4.6	1.75	0.080
0.6300	5.8	3.2	3.46	0.111
0.3150	4.2	1.6	6.93	0.111
0.1600	3.6	0.6	13.64	0.082
0.0800	3.6	0.0	27.27	0.000
0.0462		3.6	47.24	1.701
total		100.0		2.577

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai #38 (30 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.8
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	33.6	32.5
2.50	45.2	9.2
1.250	46.2	7.2
0.630	47.3	5.0
0.315	47.7	4.2
0.160	47.8	4.0
0.080	47.8	4.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

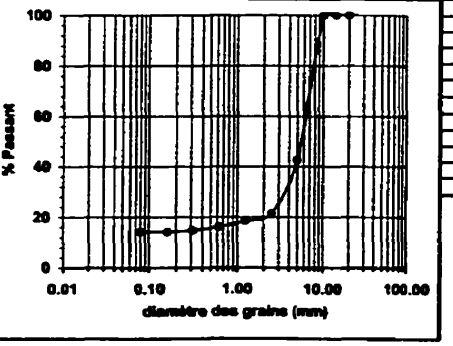
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	32.5	67.5	0.44	0.294
2.5000	9.2	23.3	0.87	0.203
1.2500	7.2	2.0	1.75	0.035
0.6300	5.0	2.2	3.46	0.076
0.3150	4.2	0.8	6.93	0.056
0.1600	4.0	0.2	13.64	0.027
0.0800	4.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		4.0	47.24	1.897
total		100.0		2.589

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai #38 (30 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	28.7	42.6
2.50	39.2	21.6
1.250	40.7	18.6
0.630	41.9	16.2
0.315	42.6	14.8
0.160	42.9	14.2
0.080	42.9	14.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	42.6	57.4	0.44	0.250
2.5000	21.6	21.0	0.87	0.183
1.2500	18.6	3.0	1.75	0.052
0.6300	16.2	2.4	3.46	0.083
0.3150	14.8	1.4	6.93	0.097
0.1600	14.2	0.6	13.64	0.082
0.0800	14.2	0.0	27.27	0.000
0.0462		14.2	47.24	6.708
total		100.0		7.488

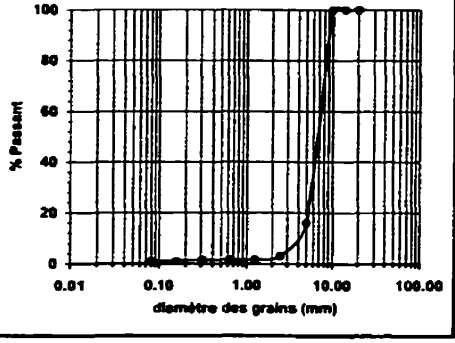
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (6/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[illegible]	Date:	14/08/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sc	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	42.0	16.0
2.50	48.5	3.0
1.250	49.2	1.6
0.630	49.3	1.4
0.315	49.3	1.4
0.160	49.5	1.0
0.080	49.5	1.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

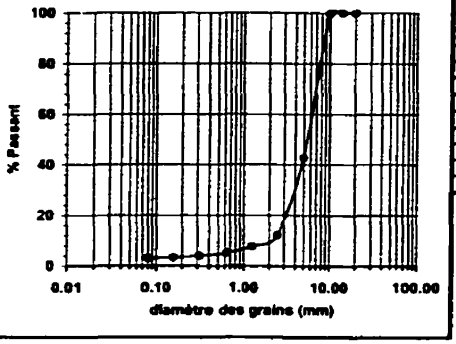
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	16.0	84.0	0.44	0.367
2.5000	3.0	13.0	0.87	0.113
1.2500	1.6	1.4	1.75	0.024
0.6300	1.4	0.2	3.46	0.007
0.3150	1.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.0	0.4	13.64	0.055
0.0800	1.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.0	47.24	0.472
total		100.0		1.038

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2-5-8-3 [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II; Essai # 41 (100 mg P/L) [illegible]	Date:	14/08/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sc	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	28.6	42.8
2.50	43.9	12.2
1.250	46.1	7.8
0.630	47.4	5.2
0.315	48.0	4.0
0.160	48.3	3.4
0.080	48.4	3.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	42.8	57.2	0.44	0.250
2.5000	12.2	30.6	0.87	0.267
1.2500	7.8	4.4	1.75	0.077
0.6300	5.2	2.6	3.46	0.090
0.3150	4.0	1.2	6.93	0.083
0.1600	3.4	0.6	13.64	0.082
0.0800	3.2	0.2	27.27	0.055
0.0462		3.2	47.24	1.512
total		100.0		2.415

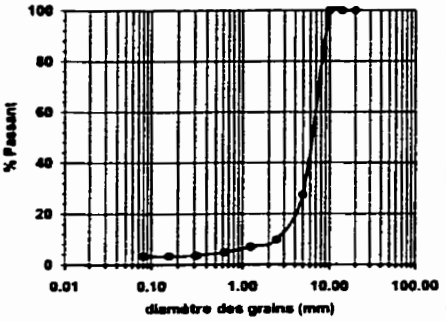
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (7/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]
DESCRIPTION	[illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible]
Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
Sc	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	36.2	27.5
2.50	45.0	9.8
1.250	46.4	7.0
0.630	47.5	4.8
0.315	48.1	3.6
0.160	48.2	3.4
0.080	48.2	3.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

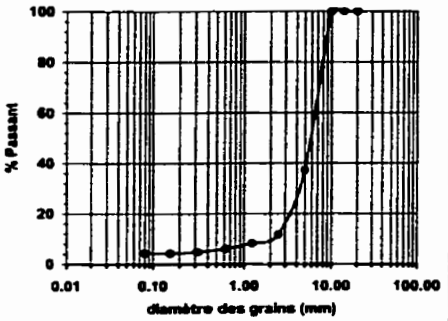
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	27.5	72.5	0.44	0.317
2.5000	9.8	17.6	0.87	0.154
1.2500	7.0	2.8	1.75	0.049
0.6300	4.8	2.2	3.46	0.076
0.3150	3.6	1.2	6.93	0.083
0.1600	3.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	3.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		3.4	47.24	1.609
total		100.0		2.316

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire:Graybec:2.5-6.3 [illegible]
DESCRIPTION	Protocole II:Essai # 44:(300 mg [illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible]
Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
Sc	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	31.3	37.3
2.50	44.1	11.6
1.250	45.8	8.2
0.630	46.9	6.0
0.315	47.5	4.8
0.160	47.7	4.4
0.080	47.7	4.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	37.3	62.7	0.44	0.274
2.5000	11.6	25.7	0.87	0.224
1.2500	8.2	3.4	1.75	0.059
0.6300	6.0	2.2	3.46	0.076
0.3150	4.8	1.2	6.93	0.083
0.1600	4.4	0.4	13.64	0.055
0.0800	4.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		4.4	47.24	2.083
total		100.0		2.854

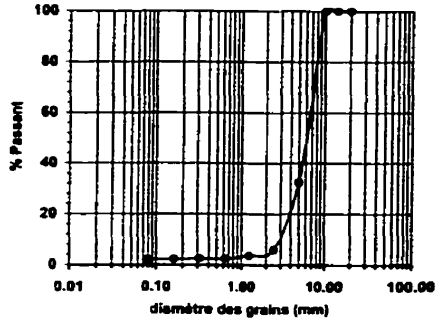
Tableau A3.2 Résultats des essais granulométriques – protocole II (8/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[redacted]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[redacted]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	33.7	32.5
2.50	46.9	6.0
1.250	48.1	3.6
0.630	48.7	2.4
0.315	48.7	2.4
0.160	48.8	2.2
0.080	48.9	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

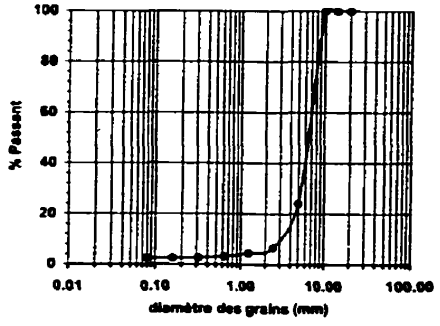
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	32.5	67.5	0.44	0.296
2.5000	6.0	26.5	0.87	0.231
1.2500	3.6	2.4	1.75	0.042
0.6300	2.4	1.2	3.46	0.042
0.3150	2.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.2	0.2	13.64	0.027
0.0800	2.0	0.2	27.27	0.055
0.0462		2.0	47.24	0.947
total		100.0		1.638

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire-Grès/bacs 2.5-6.3 [redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II, Essai #4X (1000 mg/L [redacted]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[redacted]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	37.9	24.0
2.50	46.6	6.6
1.250	47.7	4.4
0.630	48.3	3.2
0.315	48.6	2.6
0.160	48.7	2.4
0.080	48.7	2.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

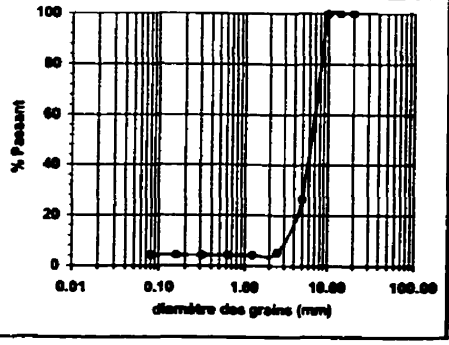
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	24.0	76.0	0.44	0.331
2.5000	6.6	17.4	0.87	0.152
1.2500	4.4	2.2	1.75	0.038
0.6300	3.2	1.2	3.46	0.042
0.3150	2.6	0.6	6.93	0.042
0.1600	2.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	2.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.4	47.24	1.136
total		100.0		1.789

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire-Grès/bacs 2.5-6.3 [redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole II, Essai #4X (1000 mg/L [redacted]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[redacted]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	100.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	73.6	26.4
2.50	94.8	5.2
1.250	95.7	4.3
0.630	95.7	4.3
0.315	95.7	4.3
0.160	95.7	4.3
0.080	95.8	4.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	26.4	73.6	0.44	0.321
2.5000	5.2	21.2	0.87	0.185
1.2500	4.3	0.9	1.75	0.016
0.6300	4.3	0.0	3.46	0.000
0.3150	4.3	0.0	6.93	0.000
0.1600	4.3	0.0	13.64	0.000
0.0800	4.2	0.1	27.27	0.027
0.0462		4.2	47.24	1.984
total		100.0		2.533

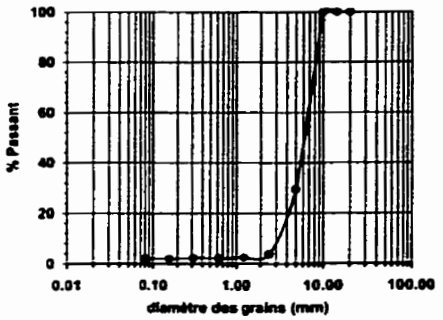
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (1/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 49 (0 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	35.3	29.4
2.50	48.1	3.8
1.250	48.8	2.4
0.630	48.9	2.2
0.315	48.9	2.2
0.160	49.0	2.0
0.080	49.0	2.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

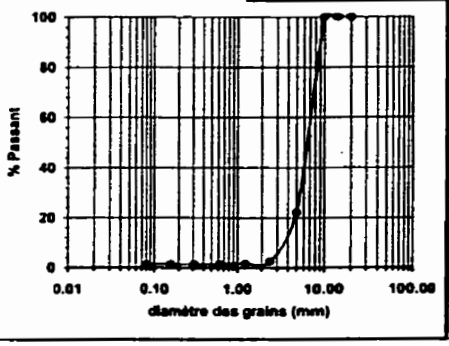
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	29.4	70.6	0.44	0.308
2.5000	3.8	25.6	0.87	0.223
1.2500	2.4	1.4	1.75	0.024
0.6300	2.2	0.2	3.46	0.007
0.3150	2.2	0.0	6.93	0.000
0.1600	2.0	0.2	13.64	0.027
0.0800	2.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		2.0	47.24	0.945
total		100.0		1.535

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 50 (0 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	39.0	22.0
2.50	48.8	2.4
1.250	49.2	1.6
0.630	49.3	1.4
0.315	49.3	1.4
0.160	49.3	1.4
0.080	49.4	1.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

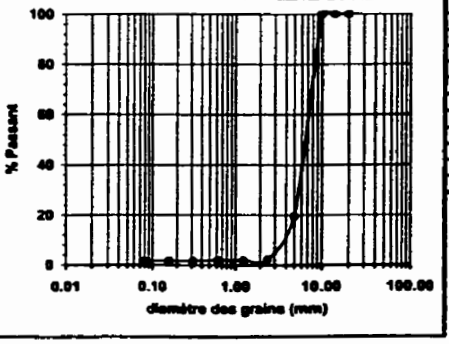
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.0	78.0	0.44	0.340
2.5000	2.4	19.6	0.87	0.171
1.2500	1.6	0.8	1.75	0.014
0.6300	1.4	0.2	3.46	0.007
0.3150	1.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.2	0.2	27.27	0.055
0.0462		1.2	47.24	0.567
total		100.0		1.154

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 51 (0 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sa	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	40.2	19.4
2.50	48.8	2.2
1.250	49.0	1.8
0.630	49.0	1.8
0.315	49.1	1.6
0.160	49.1	1.6
0.080	49.2	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	19.4	80.6	0.44	0.352
2.5000	2.2	17.2	0.87	0.150
1.2500	1.8	0.4	1.75	0.007
0.6300	1.8	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.6	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.6	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.4	0.2	27.27	0.055
0.0462		1.4	47.24	0.663
total		100.0		1.248

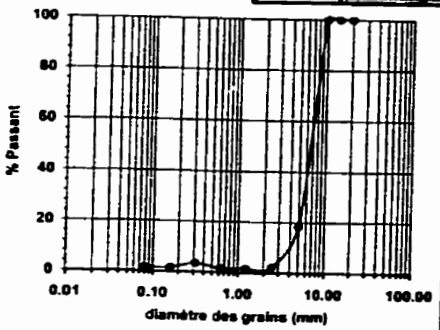
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (2/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # [illegible] (2,5 mg P/L) [illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible]
Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	40.8	18.4
2.50	49.0	2.0
1.250	49.3	1.4
0.630	49.3	1.4
0.315	48.3	3.4
0.160	49.3	1.4
0.080	49.3	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

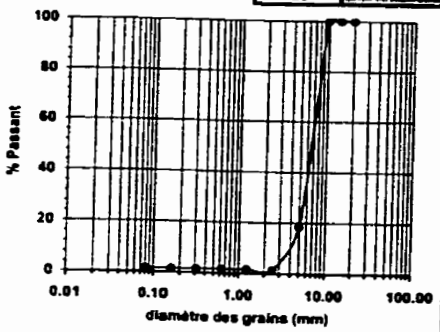
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	18.4	81.6	0.44	0.356
2.5000	2.0	16.4	0.87	0.143
1.2500	1.4	0.6	1.75	0.010
0.6300	1.4	0.0	3.46	0.000
0.3150	3.4	-2.0	6.93	-0.139
0.1600	1.4	2.0	13.64	0.273
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.661
total		100.0		1.385

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec: 2,5-8,3 mm [illegible]
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 53 (2,5 mg P/L) [illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible]
Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	40.7	18.4
2.50	49.1	1.6
1.250	49.1	1.6
0.630	49.1	1.6
0.315	49.2	1.4
0.160	49.2	1.4
0.080	49.2	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

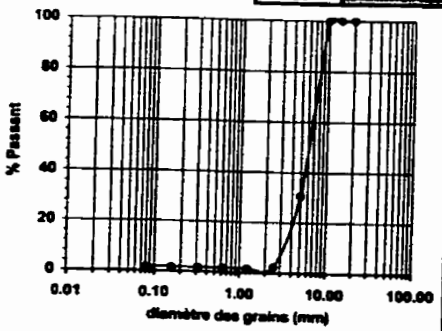
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	18.4	81.6	0.44	0.356
2.5000	1.6	16.8	0.87	0.147
1.2500	1.6	0.0	1.75	0.000
0.6300	1.6	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.4	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.663
total		100.0		1.179

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec: 2,5-8,3 mm [illegible]
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 54 (2,5 mg P/L) [illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible]
Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	34.7	30.6
2.50	48.9	2.2
1.250	49.2	1.6
0.630	49.2	1.6
0.315	49.2	1.6
0.160	49.2	1.6
0.080	49.3	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Echantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	30.6	69.4	0.44	0.303
2.5000	2.2	28.4	0.87	0.248
1.2500	1.6	0.6	1.75	0.010
0.6300	1.6	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.6	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.6	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.4	0.2	27.27	0.055
0.0462		1.4	47.24	0.661
total		100.0		1.277

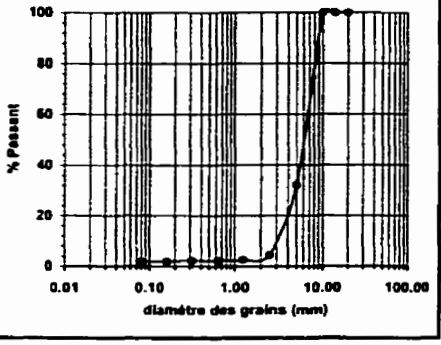
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (3/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec, 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 58 (5 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	34.0	32.1
2.50	47.9	4.4
1.250	48.9	2.4
0.630	49.0	2.2
0.315	49.0	2.2
0.160	49.2	1.8
0.080	49.2	1.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

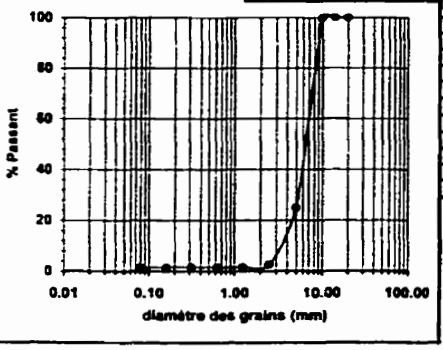
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	32.1	67.9	0.44	0.298
2.5000	4.4	27.7	0.87	0.242
1.2500	2.4	2.0	1.75	0.035
0.6300	2.2	0.2	3.46	0.007
0.3150	2.2	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.8	0.4	13.64	0.054
0.0800	1.8	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.8	47.24	0.849
total		100.0		1.483

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec, 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 58 (5 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	37.5	25.0
2.50	48.7	2.6
1.250	49.2	1.6
0.630	49.2	1.6
0.315	49.2	1.6
0.160	49.3	1.4
0.080	49.3	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

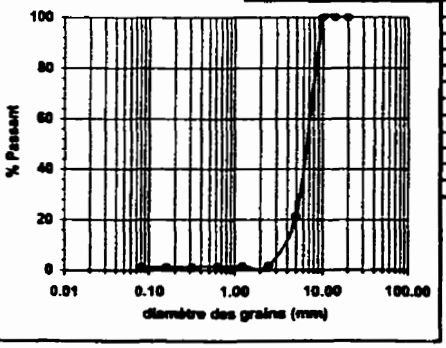
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	25.0	75.0	0.44	0.327
2.5000	2.6	22.4	0.87	0.195
1.2500	1.6	1.0	1.75	0.017
0.6300	1.6	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.6	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.661
total		100.0		1.229

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec, 2.5-6.3 mm	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III, Essai # 58 (5 mg P/L)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Ss	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	39.3	21.4
2.50	49.1	1.8
1.250	49.3	1.4
0.630	49.3	1.4
0.315	49.4	1.2
0.160	49.4	1.2
0.080	49.4	1.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	21.4	78.6	0.44	0.343
2.5000	1.8	19.6	0.87	0.171
1.2500	1.4	0.4	1.75	0.007
0.6300	1.4	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.2	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.2	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.2	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.2	47.24	0.567
total		100.0		1.162

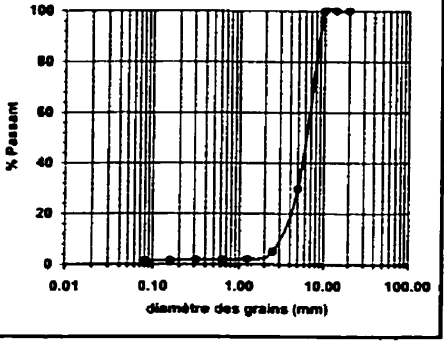
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (4/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]
DESCRIPTION	[illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible]
$Cu = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	35.2	29.7
2.50	47.6	5.0
1.250	49.0	2.2
0.630	49.2	1.8
0.315	49.2	1.8
0.160	49.3	1.6
0.080	49.4	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon — Gs 2.750

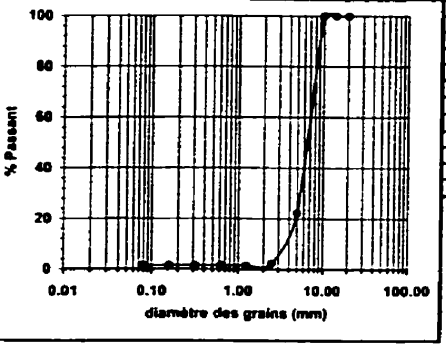
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	29.7	70.3	0.44	0.307
2.5000	5.0	24.8	0.87	0.216
1.2500	2.2	2.8	1.75	0.049
0.6300	1.8	0.4	3.46	0.014
0.3150	1.8	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.6	0.2	13.64	0.027
0.0800	1.4	0.2	27.27	0.054
0.0462		1.4	47.24	0.660
total		100.0		1.327

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]
DESCRIPTION	Protocole III: Essai #59 (10 mg P/L) [illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible] 2.75[illegible]
$Cu = D_{60}/D_{10}$	[illegible] 1.9[illegible]
Ss	[illegible] 1.2[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	38.8	22.2
2.50	48.8	2.2
1.250	49.2	1.4
0.630	49.2	1.4
0.315	49.2	1.4
0.160	49.2	1.4
0.080	49.2	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon — Gs 2.750

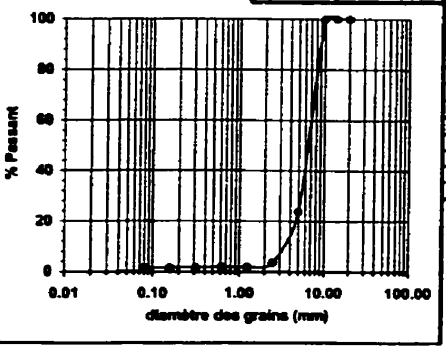
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.2	77.8	0.44	0.339
2.5000	2.2	20.0	0.87	0.175
1.2500	1.4	0.8	1.75	0.014
0.6300	1.4	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.663
total		100.0		1.191

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]
DESCRIPTION	Protocole III: Essai #60 (10 mg P/L) [illegible]
Manipulation:	C.F.
Date:	14/06/1999
Gs:	[illegible] 2.75[illegible]
$Cu = D_{60}/D_{10}$	[illegible]
Ss	[illegible] 1.2[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	38.1	23.8
2.50	48.2	3.6
1.250	49.1	1.8
0.630	49.1	1.8
0.315	49.2	1.6
0.160	49.3	1.4
0.080	49.3	1.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon — Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	23.8	76.2	0.44	0.333
2.5000	3.6	20.2	0.87	0.176
1.2500	1.8	1.8	1.75	0.031
0.6300	1.8	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.6	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	1.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		1.4	47.24	0.661
total		100.0		1.343

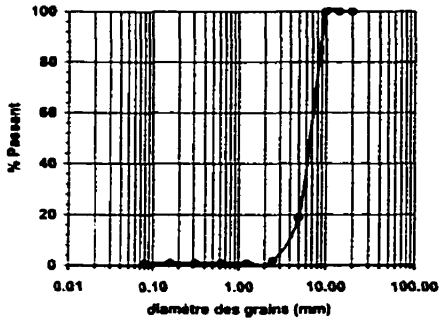
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (5/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	40.6	19.0
2.50	49.2	1.8
1.250	49.6	1.0
0.630	49.6	1.0
0.315	49.6	1.0
0.160	49.6	1.0
0.080	49.7	0.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

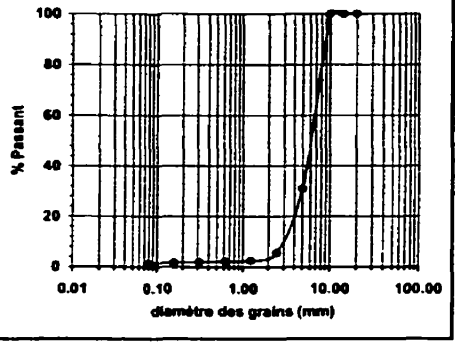
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	19.0	81.0	0.44	0.354
2.5000	1.8	17.2	0.87	0.150
1.2500	1.0	0.8	1.75	0.014
0.6300	1.0	0.0	3.46	0.000
0.3150	1.0	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.0	0.0	13.64	0.000
0.0800	0.8	0.2	27.27	0.054
0.0462		0.8	47.24	0.377
total		100.0		0.949

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec/ 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 62 (30 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	34.4	31.1
2.50	47.1	5.6
1.250	48.7	2.4
0.630	48.9	2.0
0.315	49.0	1.8
0.160	49.1	1.6
0.080	49.3	1.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

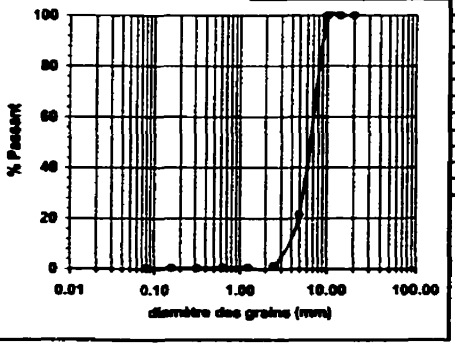
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	31.1	68.9	0.44	0.301
2.5000	5.6	25.5	0.87	0.222
1.2500	2.4	3.2	1.75	0.056
0.6300	2.0	0.4	3.46	0.014
0.3150	1.8	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.6	0.2	13.64	0.027
0.0800	1.2	0.4	27.27	0.109
0.0462		1.2	47.24	0.566
total		100.0		1.311

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec/ 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 63 (30 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.0
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	39.2	21.6
2.50	49.4	1.2
1.250	49.7	0.6
0.630	49.7	0.6
0.315	49.8	0.4
0.160	49.8	0.4
0.080	49.8	0.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m^2/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	21.6	78.4	0.44	0.342
2.5000	1.2	20.4	0.87	0.178
1.2500	0.6	0.6	1.75	0.010
0.6300	0.6	0.0	3.46	0.000
0.3150	0.4	0.2	6.93	0.014
0.1600	0.4	0.0	13.64	0.000
0.0800	0.4	0.0	27.27	0.000
0.0462		0.4	47.24	0.188
total		100.0		0.733

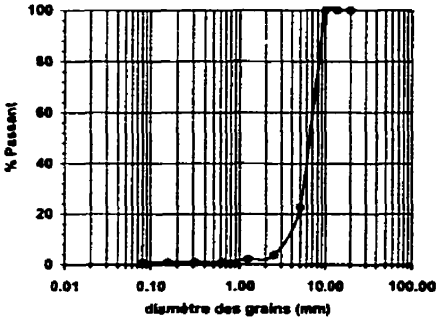
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (6/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 64 (100 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	38.6	22.6
2.50	48.0	3.8
1.250	48.9	2.0
0.630	49.4	1.0
0.315	49.5	0.8
0.160	49.5	0.8
0.080	49.6	0.6



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

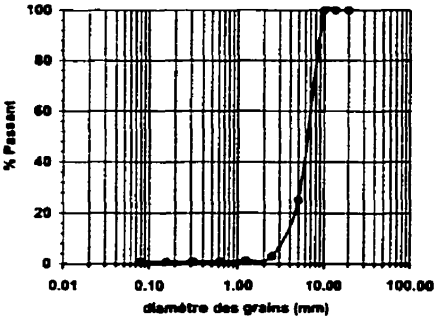
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.6	77.4	0.44	0.338
2.5000	3.8	18.8	0.87	0.164
1.2500	2.0	1.8	1.75	0.031
0.6300	1.0	1.0	3.46	0.035
0.3150	0.8	0.2	6.93	0.014
0.1600	0.8	0.0	13.64	0.000
0.0800	0.6	0.2	27.27	0.055
0.0462		0.6	47.24	0.284
total		100.0		0.921

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2.5-6.3 [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 65 (100 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	37.5	25.1
2.50	48.6	3.0
1.250	49.5	1.2
0.630	49.6	1.0
0.315	49.7	0.8
0.160	49.7	0.8
0.080	49.7	0.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

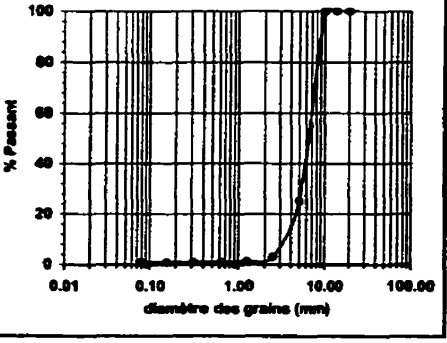
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	25.1	74.9	0.44	0.327
2.5000	3.0	22.2	0.87	0.193
1.2500	1.2	1.8	1.75	0.031
0.6300	1.0	0.2	3.46	0.007
0.3150	0.8	0.2	6.93	0.014
0.1600	0.8	0.0	13.64	0.000
0.0800	0.8	0.0	27.27	0.000
0.0462		0.8	47.24	0.377
total		100.0		0.948

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec; 2.5-6.3 [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 66 (100 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	39.1	22.0
2.50	49.4	1.4
1.250	49.8	0.6
0.630	49.9	0.4
0.315	49.9	0.4
0.160	50.0	0.2
0.080	50.0	0.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	22.0	78.0	0.44	0.341
2.5000	1.4	20.6	0.87	0.179
1.2500	0.6	0.8	1.75	0.014
0.6300	0.4	0.2	3.46	0.007
0.3150	0.4	0.0	6.93	0.000
0.1600	0.2	0.2	13.64	0.027
0.0800	0.2	0.0	27.27	0.000
0.0462		0.2	47.24	0.094
total		100.0		0.662

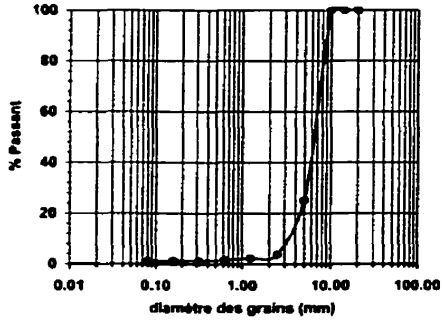
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (7/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 68 (300 mg PE)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sc	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	37.4	25.1
2.50	48.0	3.8
1.250	48.8	2.2
0.630	49.2	1.4
0.315	49.3	1.2
0.160	49.3	1.2
0.080	49.4	1.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

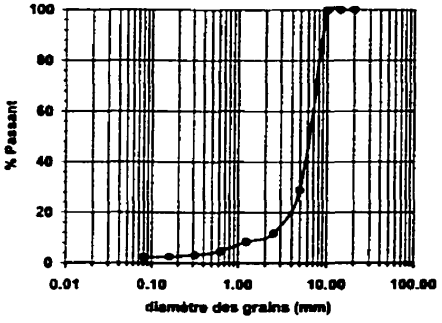
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	25.1	74.9	0.44	0.327
2.5000	3.8	21.2	0.87	0.185
1.2500	2.2	1.6	1.75	0.028
0.6300	1.4	0.8	3.46	0.028
0.3150	1.2	0.2	6.93	0.014
0.1600	1.2	0.0	13.64	0.000
0.0800	1.0	0.2	27.27	0.055
0.0462		1.0	47.24	0.473
total		100.0		1.110

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 68 (300 mg PE)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sc	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	35.6	28.9
2.50	44.2	11.8
1.250	45.9	8.4
0.630	47.7	4.8
0.315	48.5	3.2
0.160	48.9	2.4
0.080	49.0	2.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

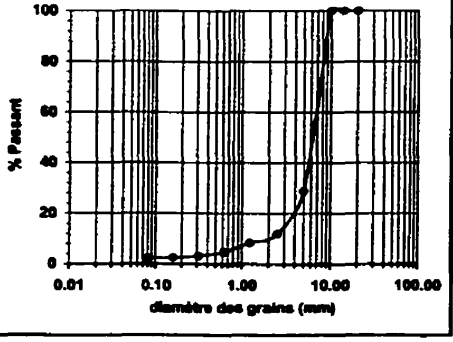
Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	28.9	71.1	0.44	0.310
2.5000	11.8	17.2	0.87	0.150
1.2500	8.4	3.4	1.75	0.059
0.6300	4.8	3.6	3.46	0.124
0.3150	3.2	1.6	6.93	0.111
0.1600	2.4	0.8	13.64	0.109
0.0800	2.2	0.2	27.27	0.054
0.0462		2.2	47.24	1.037
total		100.0		1.955

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai # 68 (300 mg PE)	Date:	14/06/1999
		Gs:	
		Cu = D_{60}/D_{10}	
		Sc	

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.2
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	38.0	24.3
2.50	48.4	3.6
1.250	49.0	2.4
0.630	49.4	1.6
0.315	49.4	1.6
0.160	49.5	1.4
0.080	49.6	1.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Se*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	24.3	75.7	0.44	0.330
2.5000	3.6	20.7	0.87	0.181
1.2500	2.4	1.2	1.75	0.021
0.6300	1.6	0.8	3.46	0.028
0.3150	1.6	0.0	6.93	0.000
0.1600	1.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	1.2	0.2	27.27	0.054
0.0462		1.2	47.24	0.565
total		100.0		1.286

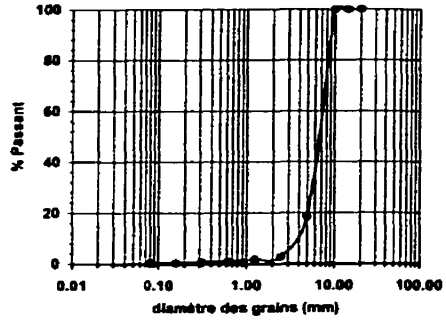
Tableau A3.3 Résultats des essais granulométriques – protocole III (8/8)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai 8/2/1 (1000 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	49.9
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	40.7	18.4
2.50	48.6	2.6
1.250	49.1	1.6
0.630	49.5	0.8
0.315	49.6	0.6
0.160	49.7	0.4
0.080	49.8	0.2



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

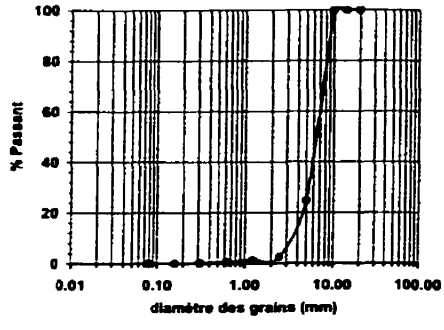
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	18.4	81.6	0.44	0.356
2.5000	2.6	15.8	0.87	0.138
1.2500	1.6	1.0	1.75	0.017
0.6300	0.8	0.8	3.46	0.028
0.3150	0.6	0.2	6.93	0.014
0.1600	0.4	0.2	13.64	0.027
0.0800	0.2	0.2	27.27	0.055
0.0462		0.2	47.24	0.095
total		100.0		0.739

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai 8/2/1 (1000 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.2
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	37.8	24.7
2.50	49.0	2.4
1.250	49.6	1.2
0.630	49.9	0.6
0.315	50.1	0.2
0.160	50.2	0.0
0.080	50.2	0.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

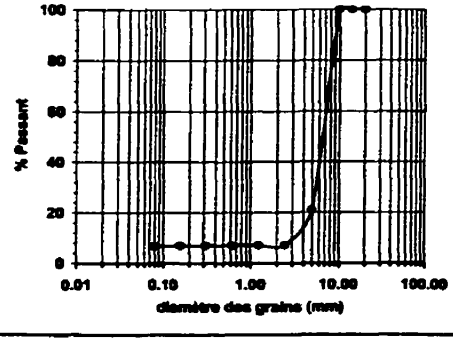
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	24.7	75.3	0.44	0.329
2.5000	2.4	22.3	0.87	0.195
1.2500	1.2	1.2	1.75	0.021
0.6300	0.6	0.6	3.46	0.021
0.3150	0.2	0.4	6.93	0.028
0.1600	0.0	0.2	13.64	0.027
0.0800	0.0	0.0	27.27	0.000
0.0462		0.0	47.24	0.000
total		100.0		0.620

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Calcaire Graybec 2.5-6.3 mm [illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Protocole III; Essai 8/2/2 (1000 mg P/L) [illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Sa	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	
Masse Sol Hum + tare (g)	
Masse Sol sec + tare (g)	
Masse Sol sec (g)	50.1
Masse tare (g)	

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	39.5	21.2
2.50	46.5	7.2
1.250	46.5	7.2
0.630	46.6	7.0
0.315	46.6	7.0
0.160	46.6	7.0
0.080	46.7	6.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.750

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	21.2	78.8	0.44	0.344
2.5000	7.2	14.0	0.87	0.122
1.2500	7.2	0.0	1.75	0.000
0.6300	7.0	0.2	3.46	0.007
0.3150	7.0	0.0	6.93	0.000
0.1600	7.0	0.0	13.64	0.000
0.0800	6.8	0.2	27.27	0.054
0.0462		6.8	47.24	3.206
total		100.0		3.733

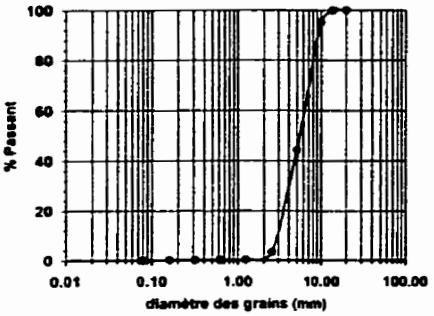
Tableau A3.4 Essais granulométriques – matériaux sélectionnés (1/3)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[illegible]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[illegible]	Date:	14/06/1999
		Gs:	[illegible]
		Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
		Ss	[illegible]

TENEUR EN EAU (%)	0.5
Masse Sol Hum + tare (g)	473.6
Masse Sol sec + tare (g)	471.9
Masse Sol sec (g)	338.8
Masse tare (g)	133.1

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00	16.4	95.2
5.00	188.8	44.3
2.50	327.9	3.2
1.250	338.0	0.2
0.630	338.2	0.2
0.315	338.3	0.2
0.160	338.6	0.1
0.080	338.8	0.0



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE A PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.673

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	95.2	4.8	0.22	0.011
5.0000	44.3	50.9	0.45	0.228
2.5000	3.2	41.1	0.90	0.369
1.2500	0.2	3.0	1.80	0.054
0.6300	0.2	0.1	3.56	0.002
0.3150	0.2	0.0	7.13	0.002
0.1600	0.1	0.1	14.03	0.012
0.0800	0.0	0.1	28.06	0.017
0.0462		0.0	48.60	0.006
total		100.0		0.799

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

IDENTIFICATION	Scorie d'acier 0-5 mm (A6) [illegible]	Manipulation	
	Ispat-Sidbec [illegible]	Date:	

Granulométrie

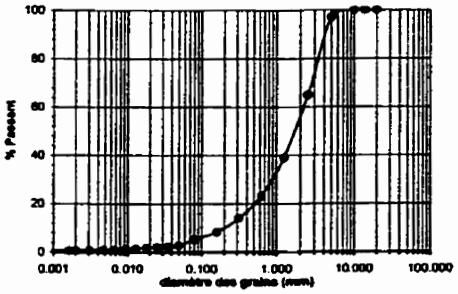
TENEUR EN EAU (%)	1.62
Masse Sol Hum + tare (g)	496.0
Masse Sol sec + tare (g)	490.2
Masse Sol sec (g)	357.8
Masse tare (g)	132.5

Sédimentométrie

Masse Sol sec + tare (g)	147.83
Masse Sol hum + tare (g)	148.34
Masse tare (g)	78.13
Masse sol sec (g)	69.70

TAMIS	Pds ret.	% P
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	10.4	97.1
2.50	125.4	64.9
1.250	218.9	38.8
0.630	274.8	23.2
0.315	307.5	14.0
0.160	327.8	8.4
0.080	339.0	5.2

ASTM:
D421
D422
D1140
D2217
E11



Gs:	[illegible]
a =	[illegible]
k =	[illegible]
Cu = D_{60}/D_{10}	[illegible]
Ss (m²/kg)	[illegible]

D mm	% P
20.000	100.0
14.000	100.0
10.000	100.0
5.000	97.1
2.500	64.9
1.250	38.8
0.630	23.2
0.315	14.0
0.160	8.4
0.080	5.2
0.0500	2.7
0.0357	2.3
0.0253	2.1
0.0180	1.8
0.0129	1.4
0.0095	1.1
0.0067	0.9
0.0048	0.9
0.0031	0.7
0.0020	0.6
0.0016	0.6
0.0010	0.6

TEMP. °C	T min	R	dR	R-dR	L
23.5	0.5	13.5	2.9	10.6	13.912
	1	11.8		8.9	14.191
	2	11.1		8.2	14.306
	4	9.8		6.9	14.519
	8	8.3		5.4	14.765
	15	7.2		4.3	14.945
	30	6.5		3.6	15.080
	60	6.3		3.4	15.083
	144	5.7		2.8	15.191
	337	5.3		2.4	15.257
	518	5.3		2.4	15.257
	1507	5.3		2.4	15.257

CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon Scorie d'acier 0-5 mm (A6)

Gs 3.798

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
	100.0			
20.0000	100.0	0.0	0.08	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
5.0000	97.1	2.9	0.32	0.009
2.5000	64.9	32.1	0.63	0.203
1.2500	38.8	26.1	1.26	0.330
0.6300	23.2	15.6	2.51	0.392
0.3150	14.0	9.1	5.02	0.459
0.1600	8.4	5.7	9.88	0.561
0.0800	5.2	3.1	19.76	0.619
0.0500	2.7	2.5	31.63	0.798
0.0357	2.3	0.4	44.29	0.193
0.0253	2.1	0.2	62.39	0.112
0.0180	1.8	0.3	87.58	0.292
0.0129	1.4	0.4	122.82	0.472
0.0095	1.1	0.3	167.17	0.472
0.0067	0.9	0.2	235.51	0.423
0.0048	0.9	0.1	332.69	0.171
0.0031	0.7	0.2	513.73	0.790
0.0020	0.6	0.1	784.22	0.804
0.0016	0.6	0.0	972.27	0.000
0.0010	0.6	0.0	1658.36	0.000
0.0006		0.6	2872.44	17.678
		100.0		24.778

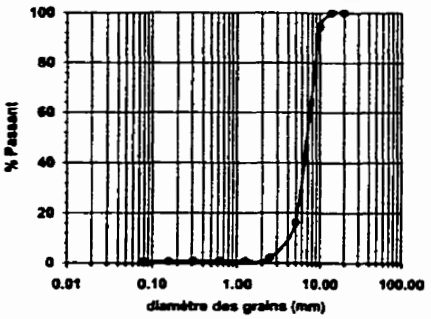
Tableau A3.4 Essais granulométriques – matériaux sélectionnés (2/3)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[redacted]	Date:	14/08/1999
		Gs:	[redacted]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	0.2
Masse Sol Hum + tare (g)	1184.2
Masse Sol sec + tare (g)	1181.6
Masse Sol sec (g)	1049.1
Masse tare (g)	132.5

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00	58.8	94.4
5.00	878.4	16.3
2.50	1027.0	2.1
1.250	1040.0	0.9
0.630	1040.8	0.8
0.315	1041.3	0.7
0.160	1042.1	0.7
0.080	1043.5	0.5



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 3.784

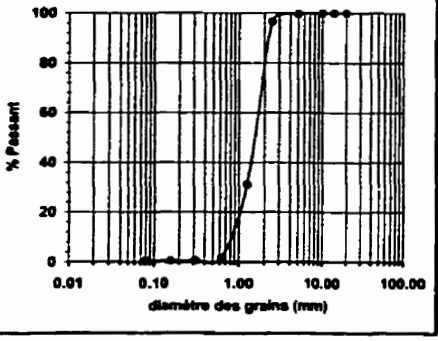
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.06	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.08	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
10.0000	94.4	5.6	0.16	0.009
5.0000	16.3	78.1	0.32	0.248
2.5000	2.1	14.2	0.63	0.090
1.2500	0.9	1.2	1.27	0.016
0.6300	0.8	0.1	2.52	0.002
0.3150	0.7	0.0	5.03	0.002
0.1600	0.7	0.1	9.91	0.008
0.0800	0.5	0.1	19.82	0.026
0.0462		0.5	34.33	0.183
total		100.0		0.583

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Résidus d'amiante	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Mine Bell	Date:	
		Gs:	[redacted]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	0.3
Masse Sol Hum + tare (g)	437.2
Masse Sol sec + tare (g)	436.3
Masse Sol sec (g)	304.7
Masse tare (g)	131.6

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	1.0	99.7
2.50	10.7	96.5
1.250	209.8	31.1
0.630	299.9	1.6
0.315	302.9	0.6
0.160	303.1	0.5
0.080	303.2	0.5



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.687

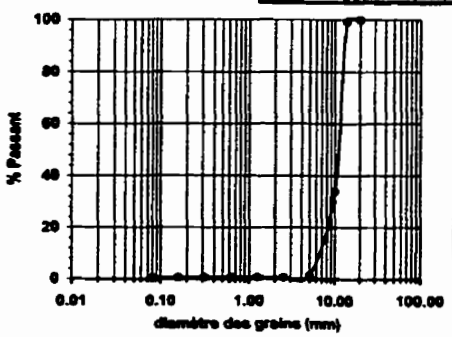
Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.09	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.16	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.22	0.000
5.0000	99.7	0.3	0.45	0.001
2.5000	96.5	3.2	0.89	0.028
1.2500	31.1	65.3	1.79	1.167
0.6300	1.6	29.6	3.54	1.048
0.3150	0.6	1.0	7.09	0.070
0.1600	0.5	0.1	13.96	0.009
0.0800	0.5	0.0	27.91	0.000
0.0462		0.5	48.35	0.236
total		100.0		2.576

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	Scorie d'acier	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	Inpat-Sidbec	Date:	
		Gs:	[redacted]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[redacted]
		Ss	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	0.3
Masse Sol Hum + tare (g)	2113.6
Masse Sol sec + tare (g)	2108.3
Masse Sol sec (g)	1973.9
Masse tare (g)	134.4

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00	15.4	99.2
10.00	1304.1	33.9
5.00	1950.3	1.2
2.50	1961.6	0.6
1.250	1961.9	0.6
0.630	1962.1	0.6
0.315	1962.6	0.6
0.160	1964.1	0.5
0.080	1966.6	0.4



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 3.590

Diam.	% passant	% passant	xS	Sa*100 (m²/kg)
25.0000	100.0	0.0	0.07	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.08	0.000
14.0000	99.2	0.8	0.12	0.001
10.0000	33.9	65.3	0.17	0.109
5.0000	1.2	32.7	0.33	0.109
2.5000	0.6	0.6	0.67	0.004
1.2500	0.6	0.0	1.34	0.000
0.6300	0.6	0.0	2.65	0.000
0.3150	0.6	0.0	5.31	0.001
0.1600	0.5	0.1	10.45	0.008
0.0800	0.4	0.1	20.89	0.028
0.0462		0.4	38.19	0.134
total		100.0		0.383

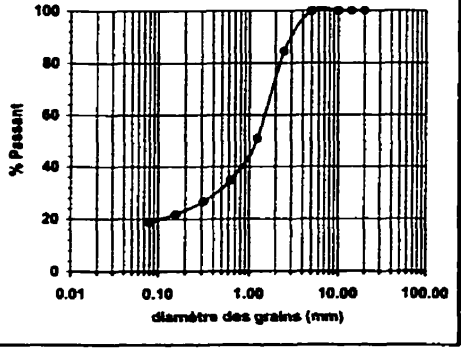
Tableau A3.4 Essais granulométriques – matériaux sélectionnés (3/3)

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

ÉCHANTILLON	[redacted]	Manipulation:	C.F.
DESCRIPTION	[redacted]	Date:	
		Gs:	[redacted]
		$Cu = D_{60}/D_{10}$	[redacted]
		Se	[redacted]

TENEUR EN EAU (%)	0.19
Masse Sol Hum + tare (g)	467.9
Masse Sol sec + tare (g)	467.2
Masse Sol sec (g)	334.4
Masse tare (g)	132.8

TAMIS	Pds ret.	% Passant
20.00		100.0
14.00		100.0
10.00		100.0
5.00	0.5	99.9
2.50	52.0	84.4
1.250	164.4	50.8
0.630	217.5	35.0
0.315	244.6	26.9
0.160	261.2	21.9
0.080	271.4	18.8



CALCUL DE LA SURFACE SPÉCIFIQUE À PARTIR DE LA GRANULOMÉTRIE

Échantillon

Gs 2.849

Diam.	% passant	% passant	xS	S_s *100 (m^2/g)
25.0000	100.0	0.0	0.08	0.000
20.0000	100.0	0.0	0.11	0.000
14.0000	100.0	0.0	0.15	0.000
10.0000	100.0	0.0	0.21	0.000
5.0000	99.9	0.1	0.42	0.001
2.5000	84.4	15.4	0.84	0.130
1.2500	50.8	33.6	1.68	0.566
0.6300	35.0	15.9	3.34	0.531
0.3150	26.9	8.1	6.69	0.542
0.1600	21.9	5.0	13.16	0.653
0.0800	18.8	3.1	26.33	0.803
0.0462		18.8	45.60	8.589
total		100.0		11.815

Tableau A3.5 Densités relatives – matériaux sélectionnés (1/2)

Identification	Scorie d'acier 0-5 mm (A6) passant 5 mm		
	Ispat-Sidbec		
DATE	13/03/2000		
PYCNOMÈTRE no (bottle no)	2	5	7
PDS PYCNOMÈTRE + EAU + SOL g (Wt bottle+water+soil)	757.06	759.77	750.85
TEMPÉRATURE t° C	21.2	21.2	21.2
PDS PYCNOMÈTRE + EAU GRS g (Wt bottle + water)	683.43	685.54	677.85
TARE no (evaporating dish no.)	61	62	64
PDS DE LA TARE + SOL SEC g (Wt dish + dry soil)	416.55	421.74	417.96
PDS DE LA TARE g (Wt dish)	316.57	321.19	318.66
PDS DU SOL SEC g (Wt dry soil)	99.98	100.55	99.30
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific gravity of water)	0.99798	0.99798	0.99798
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific grav. Of water @20°C	0.99823	0.99823	0.99823
DENSITÉ RELATIVE (DR) (Specific gravity of soil)	3.794	3.820	3.776
DENSITÉ RELATIVE CORRIGÉ (Specific gravity of soil @ 20°C)	**3.793**	**3.819**	**3.775**
Moyenne (average)	**3.796**		

Identification	Scorie d'acier 5-10 mm (A7) passant 5 mm		
	Ispat-Sidbec		
DATE	13/03/2000		
PYCNOMÈTRE no (bottle no)	2	5	7
PDS PYCNOMÈTRE + EAU + SOL g (Wt bottle+water+soil)	755.79	758.85	751.20
TEMPÉRATURE t° C	22.2	21.6	21.6
PDS PYCNOMÈTRE + EAU GRS g (Wt bottle + water)	683.35	685.51	677.81
TARE no (evaporating dish no.)	21	60	30
PDS DE LA TARE + SOL SEC g (Wt dish + dry soil)	267.43	269.28	194.02
PDS DE LA TARE g (Wt dish)	168.86	169.61	94.41
PDS DU SOL SEC g (Wt dry soil)	98.57	99.67	99.61
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific gravity of water)	0.99774	0.99788	0.99788
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific grav. Of water @20°C	0.99823	0.99823	0.99823
DENSITÉ RELATIVE (DR) (Specific gravity of soil)	3.772	3.785	3.799
DENSITÉ RELATIVE CORRIGÉ (Specific gravity of soil @ 20°C)	**3.770**	**3.784**	**3.797**
Moyenne (average)	**3.784**		

Tableau A3.5 Densités relatives – matériaux sélectionnés (2/2)

Identification	Serpentine 1/8" (A13) passant 5 mm		
	Mine Bell		
DATE			
PYCNOMÈTRE no (bottle no)	2	5	7
PDS PYCNOMÈTRE + EAU + SOL g (Wt bottle+water+soil)	746.05	748.16	740.30
TEMPÉRATURE t° C	21.2	21.2	21.2
PDS PYCNOMÈTRE + EAU GRS g (Wt bottle + water)	683.43	685.54	677.85
TARE no (evaporating dish no.)	61	62	64
PDS DE LA TARE + SOL SEC g (Wt dish + dry soil)	416.22	420.93	418.25
PDS DE LA TARE g (Wt dish)	316.57	321.33	318.61
PDS DU SOL SEC g (Wt dry soil)	99.65	99.60	99.64
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific gravity of water)	0.99798	0.99798	0.99798
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific grav. Of water @20°C	0.99823	0.99823	0.99823
DENSITÉ RELATIVE (DR) (Specific gravity of soil)	2.691	2.693	2.680
DENSITÉ RELATIVE CORRIGÉ (Specific gravity of soil @ 20°C)	**2.690**	**2.692**	**2.679**
Moyenne (average)	**2.687**		

Identification	Serpentine 1/4" (A14) passant 5 mm		
	Mine Bell		
DATE			
PYCNOMÈTRE no (bottle no)	2	5	7
PDS PYCNOMÈTRE + EAU + SOL g (Wt bottle+water+soil)	745.37	747.91	740.52
TEMPÉRATURE t° C	20.4	20.2	20.8
PDS PYCNOMÈTRE + EAU GRS g (Wt bottle + water)	683.50	685.63	677.88
TARE no (evaporating dish no.)	63	13	15
PDS DE LA TARE + SOL SEC g (Wt dish + dry soil)	414.60	267.03	275.91
PDS DE LA TARE g (Wt dish)	315.66	167.33	176.10
PDS DU SOL SEC g (Wt dry soil)	98.94	99.70	99.81
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific gravity of water)	0.99817	0.99822	0.99807
MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU (Specific grav. Of water @20°C	0.99823	0.99823	0.99823
DENSITÉ RELATIVE (DR) (Specific gravity of soil)	2.669	2.665	2.685
DENSITÉ RELATIVE CORRIGÉ (Specific gravity of soil @ 20°C)	**2.669**	**2.665**	**2.685**
Moyenne (average)	**2.673**		

ANNEXE 4 - ANALYSES MINÉRALOGIQUES

GÉOBEREX RECHERCHE RAPPORT TECHNIQUE

ANALYSES MINÉRALOGIQUES SUR CINQ ÉCHANTILLONS, PROJET PHOSPHATE.

Préparé pour

Yves Comeau, ing. PhD
Christiane Forget, ing.
Dept. CGM École Polytechnique

Par

Louis R. Bernier PhD
GÉOBEREX RECHERCHE

Le 9 janvier 2001

GÉOBEREX RECHERCHE

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX **168**
LISTE DES FIGURES **168**
LISTE DES ANNEXES **168**
1.0 INTRODUCTION **169**
2.0 MÉTHODOLOGIE **169**
3.0 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS **170**
3.1 Diffraction des Rayons-X 170
3.1.1 Calcaire 171
3.1.2 Serpentine 171
3.1.3 Gravier 171
3.1.4 Scorie d'acier 171
3.1.5 Précipité blanc 172
4.0 CONCLUSION **173**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Minéralogie par DRX 172

LISTE DES FIGURES

Planche I 170

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I DIFFRACTOGRAMMES

1.0 INTRODUCTION

Géoberex Recherche a reçu le mandat d'effectuer des travaux d'analyses minéralogiques sur quatre échantillons de matériaux (un calcaire, une serpentine, un gravier et une scorie d'acier) utilisés dans des essais en colonne réalisés à l'École Polytechnique dans le cadre d'un projet de recherche sur l'enlèvement du phosphate dans les eaux de piscicultures (Figure 1). Un autre échantillon a été soumis pour analyse et consiste en un précipité blanchâtre récupéré à la sortie de la colonne remplie par les scories d'acier. L'objectif de ce rapport est d'identifier les principaux constituants minéralogiques de ces divers matériaux.

2.0 MÉTHODOLOGIE

Les cinq échantillons soumis ont été observés au stéréomicroscope. Des photographies ont été obtenues en utilisant une caméra digitale Nikkon Coolpix 950. Une analyse par diffraction des rayons X (DRX) a été effectuée au laboratoire de DRX de l'École Polytechnique avec un diffractomètre Philips. Un tube à rayons-X au Cu a été utilisé sous un voltage de 40 kV et 20 mA. Les diffractogrammes et les tableaux des angles 2θ sont donnés à l'annexe I.

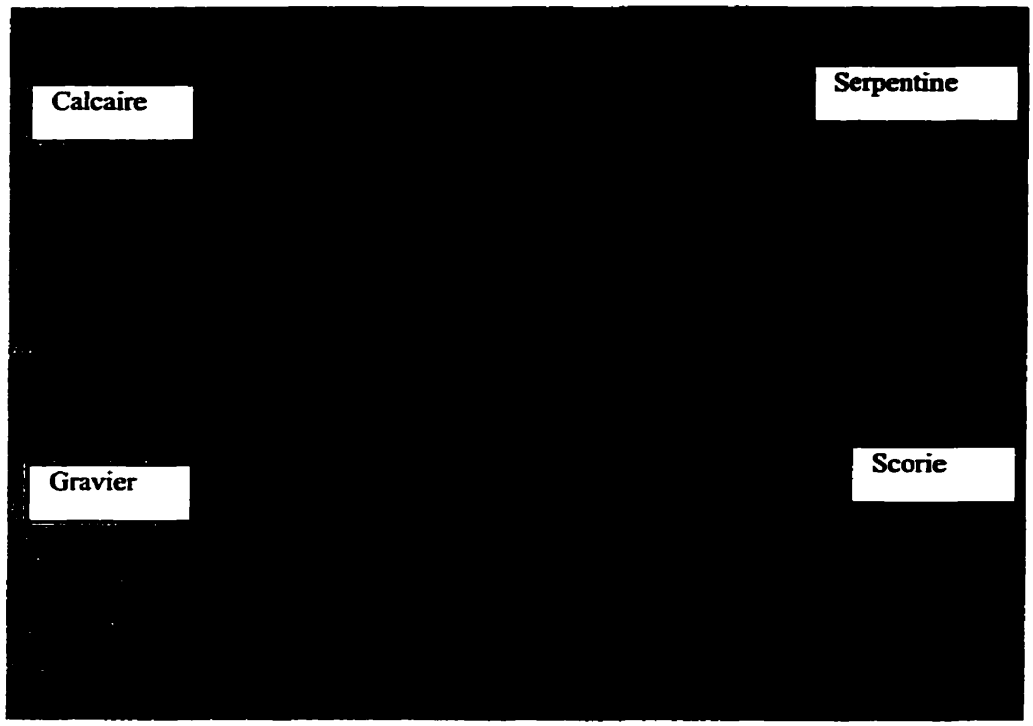


Figure 6.1 Photographie des quatre matériaux utilisés dans le montage des colonnes.

3.0 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

3.1 Diffraction des Rayons-X

Les résultats des analyses minéralogiques par DRX sont présentés aux sections qui suivent et les diffractogrammes et tableaux des mesures sont donnés à l'Annexe A. Il est à noter que la limite de détection est relativement élevée pour la méthode par DRX et des minéraux faisant moins de 2% poids ne peuvent être détectés.

Calcaire

Le calcaire utilisé est de couleur gris foncé et réagit fortement au HCl dilué (10%). Les principaux minéraux identifiés par DRX sont la calcite et la dolomite (ankérite) et les principaux minéraux accessoires d'origine détritiques sont l'albite et l'épidote. Des minéraux argileux sont probablement présents en trace. Il s'agit donc d'un calcaire dolomitique ou d'une dolomie calcaire.

Serpentine

L'agrégat de serpentine de couleur vert foncé est principalement constitué de lizardite ou d'antigorite (variété massive) et d'un peu de chrysotile (variété fibreuse). La magnésite et la magnétite sont présents comme minéraux accessoires.

Gravier

Le gravier étudié est constitué de fragments de roches de nature granitique à dioritique et de gneiss charnockitique. Les principaux minéraux identifiés sont le quartz, l'albite, l'orthose et le clinopyroxène. La magnétite, l'olivine magnésienne (forstérite), le grenat et le mica du type biotite sont présents comme minéraux accessoires. Certains fragments sont très magnétiques.

Scorie d'acier

Les fragments de scorie d'acier observés sont recouverts d'une croûte blanchâtre et sont magnétiques. Ce matériau contient une proportion importante de matière isotrope et amorphe (verre) qui ne diffracte pas. Les principaux minéraux identifiés par DRX sont la magnétite, la maghémite, la dolomite. La magnésioferrite et la chlorapatite pourraient être présentes mais plusieurs des principaux pics se superposent aux pics des minéraux précédents et leur présence est incertaine. Une étude de ce matériau en lame

mince polie au microscope polarisant et au MEB serait nécessaire pour préciser la nature des constituants minéralogiques.

Précipité blanc

Un précipité blanc échantillonné dans le eaux de lixiviation de la colonne avec la scorie d'acier a été analysé par DRX. Il s'agit principalement de calcite et d'un peu d'aragonite (polymorphe de la calcite). Il se pourrait que la portlandite (croûte blanche) associée à la scorie d'acier réagisse avec le CO_2 atmosphérique pour former un carbonate suivant la réaction ci-dessous :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

Un sommaire de la minéralogie des quatre matériaux utilisés dans les montages en colonnes est présenté dans le tableau synoptique qui suit.

Tableau 1 Minéralogie par DRX

Minéral	Calcaire	Serpentine	Gravier	Scorie*	Précipité
Quartz	Tr	n.d.	A	n.d.	n.d.
Feldspaths	Tr	n.d.	M	n.d.	n.d.
Micas	?	n.d.	Tr	n.d.	n.d.
Grenat	n.d.	n.d.	Tr	n.d.	n.d.
Clinopyroxène	n.d.	n.d.	F	n.d.	n.d.
Épidote	F	n.d.	Tr	n.d.	n.d.
Calcite	M	n.d.	n.d.	n.d.	A
Aragonite	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	F
Dolomite	A	n.d.	n.d.	F	n.d.
Magnésite	n.d.	F	n.d.	n.d.	n.d.
Lizardite	n.d.	A	n.d.	n.d.	n.d.
Magnétite	n.d.	F	Tr	M	n.d.
Maghémite	n.d.	n.d.	n.d.	F	n.d.
Chlorapatite	n.d.	n.d.	n.d.	?	n.d.

A=abondant (30-50%), M= modéré (10-30%) F=faible (<5%) Tr=trace
** = concentrations calculées . n.d.=non détecté.*

4.0 CONCLUSION

L'étude minéralogique par DRX a permis d'établir l'abondance relative des principaux minéraux présents dans les matériaux utilisés dans les montages en colonnes. Les quatre matériaux sont un calcaire dolomitique, un gravier dérivé de roches granitiques et charnockitiques, une serpentine et une scorie d'acier. Une minéralogie normative quantitative pourrait être obtenue en utilisant l'information dans ce rapport et des résultats d'analyses chimiques de roche totale. La minéralogie de la scorie pourrait être précisée par des observations au microscope polarisant en lame mince polie et au MEB.

CERTIFICAT

Je, soussigné, Louis R. Bernier certifie que:

Je suis résident au 236, 24ième Avenue à L'Ile Perrot, J7V 4M9.

Je suis diplômé de l=École Polytechnique ayant obtenu une MScA en génie minéral et de l'université McGill ayant obtenu un Ph.D. en géologie économique (1992).

Je suis membre de:

-l'Institut Canadien des Mines et de la Métallurgie
-l'Association Professionnelle des Géologues et Géophysiciens du Québec
-l'Association Minéralogique du Canada

Présentement, Je suis président de GÉOBEREX RECHERCHE, une firme œuvrant en minéralogie environnementale et appliquée.

Ce rapport est basé sur des travaux d=analyses minéralogiques par DRX et des observations au stéréomicroscope.

LIMITATION DE L=INTERPRÉTATION ET DE RESPONSABILITÉ:

Quatre échantillons de résidus miniers ont été analysés par Géoberex Recherche. Les résultats d=analyses et l=interprétation qui en découlent ne s=appliquent qu=aux seuls échantillons étudiés. Géoberex Recherche ne pourra pas être tenu responsable d=une mauvaise utilisation de l=information contenue dans ce rapport, ni des conséquences qui pourraient en découler.

J'ai joint tous les éléments qui, de bonne foi et au meilleur de ma connaissance, pourraient influencer les conclusions et recommandations présentées dans ce rapport.

Fait à Montréal, ce 9e jour du mois de janvier 2001.

Louis R. Bernier Ph.D.

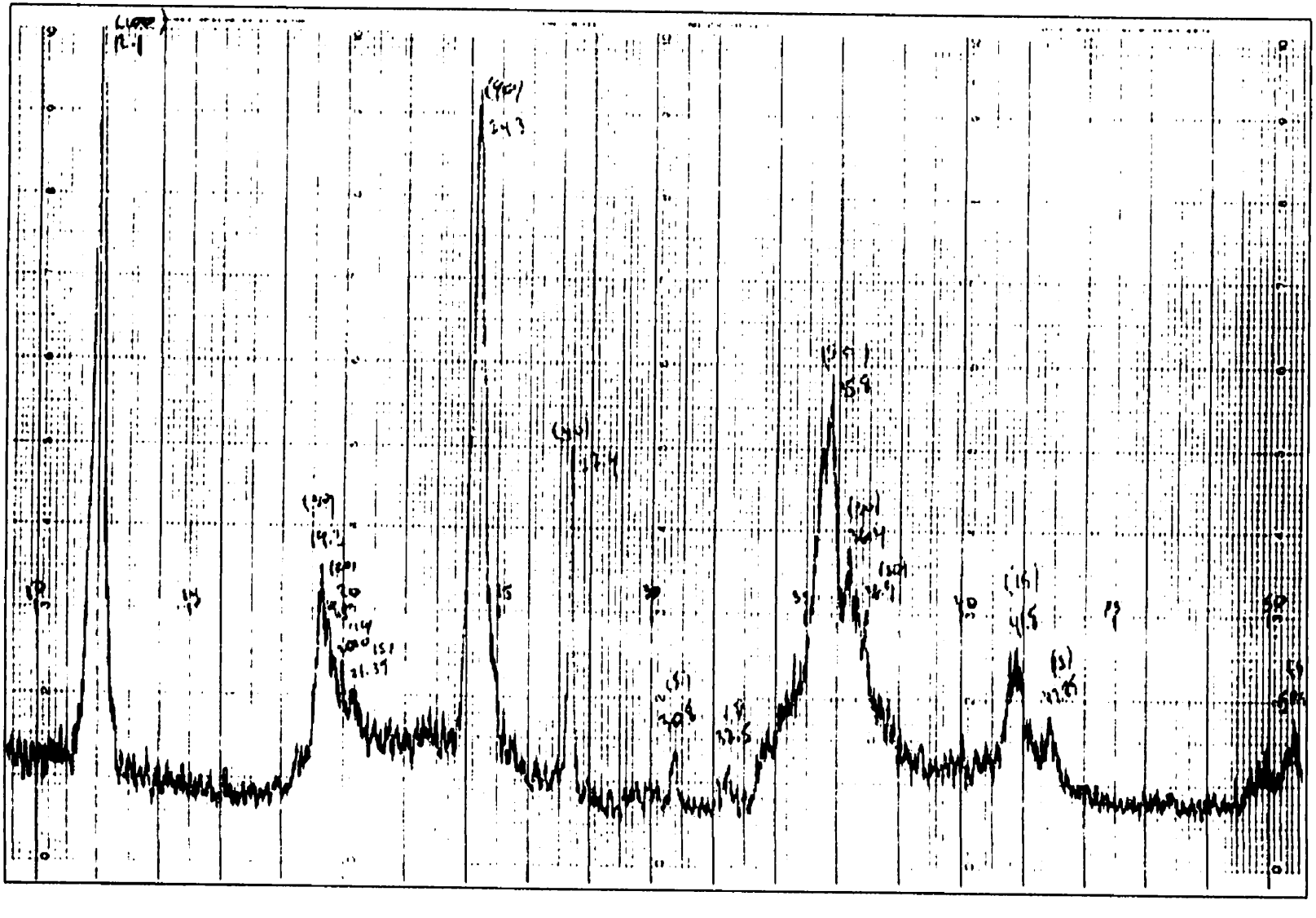
P.S: L'information contenue dans ce rapport ne devrait pas être utilisée ni publiée sans l'accord de l'auteur et devra être référée d'une façon appropriée.

ANNEXE I DIFFRACTOGRAMMES

Calcaire C.F. 2000 D:\MDI\CFcalca.dsp 2-theta window(deg): .30
No. Matching Lines = 3

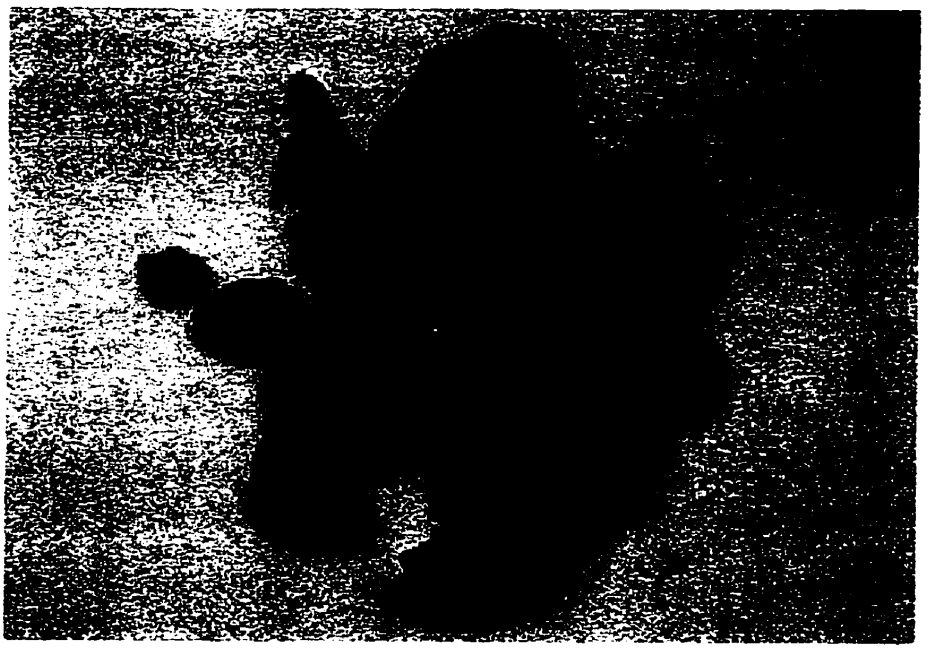
CFcalca		5-586 CaC03 Calcite, syn		41-586 Ca(Fe,Mg)(CO Ankerite		9-466 NaAlSi308 Albite, orde		41-1479 Ca2A13(Si04) Clinozoisite	
6.19	4								
7.19	4								
13.59	4					13.85	20		
20.88	15								
21.98	15			21.92	1	22.04	16	22.17	27
22.98	5	23.02	12			23.04	8		
23.38	10					23.52	25	23.68	10
23.98	30			23.94	3	24.28	16		
25.58	10					25.55	2	25.56	37
27.53	50								
27.98	10					27.89	100	27.82	14
28.43	15					28.30	10		
29.36	70	29.41	100					29.22	54
30.77	100			30.74	100			30.86	100
34.37	35							34.55	20
35.17	30			35.08	1	35.34	2		
35.97	5	35.97	14			35.95	6		
36.42	3					36.50	6		
37.19	40			37.22	3	37.36	2	37.47	13
39.35	15	39.40	18			39.53	2	39.21	32
40.87	90			40.93	5				
43.06	10	43.15	18					42.98	14
43.66	20			43.63	1	43.56	2	43.78	9
44.86	70			44.83	3				
45.76	5					45.79	4		
47.16	3	47.12	5			47.12	2		
47.46	10	47.49	17						
48.51	10	48.51	17					48.69	11
49.16	10			49.04	1			48.94	16
50.36	85			50.14	5				
50.96	80			50.83	3				
54.95	3								
57.35	5	57.40	8						
58.80	15			58.64	1			58.59	7
59.75	30			59.59	2				
59.95	30								
MATCHING LINES									
		23.02	12	21.92	1	13.85	20	22.17	27
		29.41	100	23.94	3	22.04	16	23.68	10
		35.97	14	30.74	100	23.04	8	25.56	37
		39.40	18	35.08	1	23.52	25	27.82	14
		43.15	18	37.22	3	24.14	20	29.22	54
		47.12	5	40.93	5	24.28	16	30.86	100
		47.49	17	43.63	1	25.36	10	34.55	20
		48.51	17	44.74	4	25.55	2	37.31	42
		57.40	8	44.83	3	27.89	100	37.47	13
				49.04	1	28.30	10	39.21	32
				50.14	5	34.98	8	42.98	14
				50.75	6	35.34	2	43.78	9
				50.83	3	35.73	2	48.48	12
				58.64	1	35.95	6	48.69	11
				59.59	2	36.50	6	48.94	16
						36.95	2	58.59	7
						37.36	2		
						39.53	2		
						43.56	2		
						45.79	4		

UNACCOUNTED LINES								
	31.42	3	16.43	1	14.90	2	11.04	10
	56.55	4	33.24	1	15.84	2	17.55	8
	58.07	2	52.05	1	26.39	8	17.69	14
	60.68	5	61.49	1	30.13	10	26.19	8
	60.99	4	63.12	2	30.45	16	31.94	18
	61.35	3	64.07	2	31.18	8	32.19	9
	63.06	2	64.67	1	31.44	2	33.38	42
	64.68	5	65.70	1	32.09	2	33.94	13
	65.60	3	67.09	1	33.94	6	35.51	19
	69.23	1	67.56	1	36.76	4	37.92	20
	70.24	2	69.62	1	37.64	4	41.75	17
	72.87	2	69.82	1	38.78	4	44.30	7
	76.30	1	72.42	1	41.21	4	52.49	6
	77.18	2	74.13	1	42.51	8	53.33	8
	81.55	3	76.47	1	42.63	6	54.24	7
	83.77	3	76.97	1	44.48	2	56.20	24
	84.79	1	79.30	1	45.31	2	56.41	14
	94.70	3	79.74	1	48.13	8	56.68	10
	95.01	4	80.60	1			60.56	15
	96.16	2	81.68	1			63.97	11



Serpentine C.F. 20 D:\MDI\CFSERPE.dsp 2-theta window(deg): .30
No. Matching Lines = 2

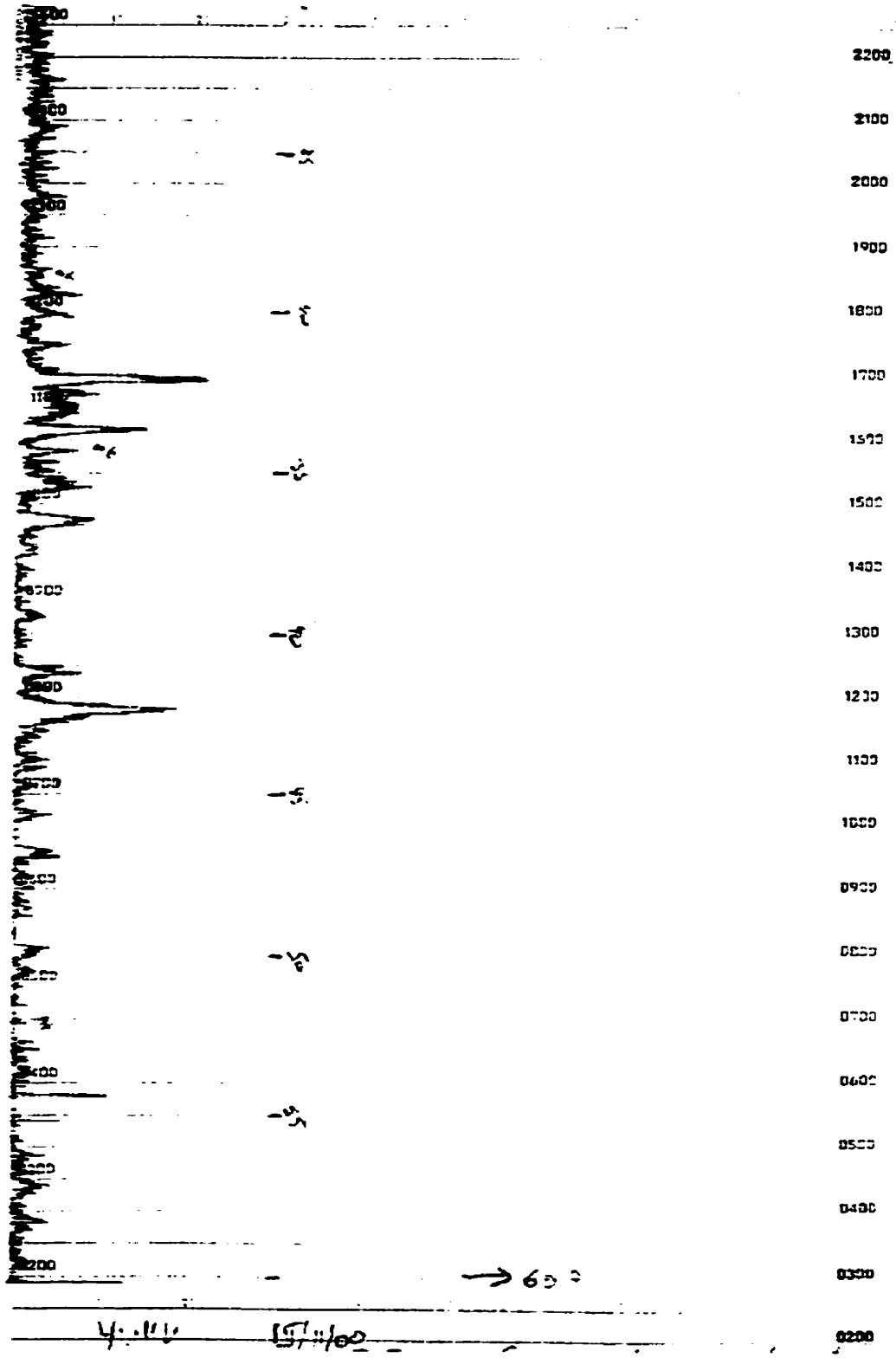
CFSERPE		18- 779 Mg3Si205(OH) Lizardite-\l		21-1262 Mg3Si205(OH) Clinochrysot		25- 645 Mg3Hi205(OH) Orthochrysot		36- 383 (Mg,Fe)C03 Magnesite, f		19- 629 FeFe204 Magnetite, s	
12.09	100	11.95	100	12.15	55	12.02	100				
19.28	30	19.28	80								
19.48	20			19.54	100	19.45	50				
21.33	5										
24.28	90	24.23	80	24.43	35	24.30	80				
27.38	40										
30.77	5										
32.47	5							32.57	100		
35.42	35			35.45	35	35.21	20			35.42	100
35.77	50	35.82	100			35.89	50	35.74	15		
36.37	30										
36.87	20			36.65	35	36.63	65			37.05	8
41.76	15	41.87	80								
42.81	15							42.87	50	43.05	20
50.76	5	50.70	50								
51.95	10										
59.95	30	60.11	80								
MATCHING LINES											
		11.95	100	12.15	55	12.02	100	32.57	100	35.42	100
		19.28	80	19.54	100	19.45	50	35.74	15	37.05	8
		24.23	80	24.43	35	24.30	80	42.87	50	43.45	20
		35.82	100	35.45	35	35.21	20				
		41.87	80	36.65	35	35.89	50				
		50.70	50			36.63	65				
		60.11	80								
UNACCOUNTED LINES											
		22.78	50	26.51	2	33.67	30	25.08	3	18.27	8
		31.08	10	34.20	35	34.41	40	38.75	6	30.10	30
		33.63	35	39.49	10	39.40	20	46.74	13	53.39	10
		37.28	5	40.99	2	40.76	20	52.78	5	56.94	30
		46.66	5	43.25	14	43.19	40	53.72	35	62.52	40
		49.64	10	47.73	2	45.99	20	61.30	3	65.74	2
		52.46	35	49.99	10	49.84	30	62.26	5	70.93	4
		54.16	10	52.39	14	52.36	40	66.28	5	73.95	10
		58.68	5	60.42	45	60.42	65	69.17	4	74.96	4
		61.57	80	61.75	45	63.49	30	70.12	7	78.93	2
		63.59	10	63.49	2	71.47	40	75.73	4	86.70	4
		65.91	50	71.78	20	72.03	40			89.62	12
		7.0.66	20							94.43	6
		72.03	65							102.23	2
		73.93	50							105.22	6
		75.87	20							106.21	4
		78.38	10							110.27	4
		82.44	50							118.74	2
		87.89	5							122.12	6
		91.21	20							128.04	8



gravier C.F. 2001 D:\MDI\CFgrav.dsp 2-theta window(deg): .30
No. Matching Lines = 3

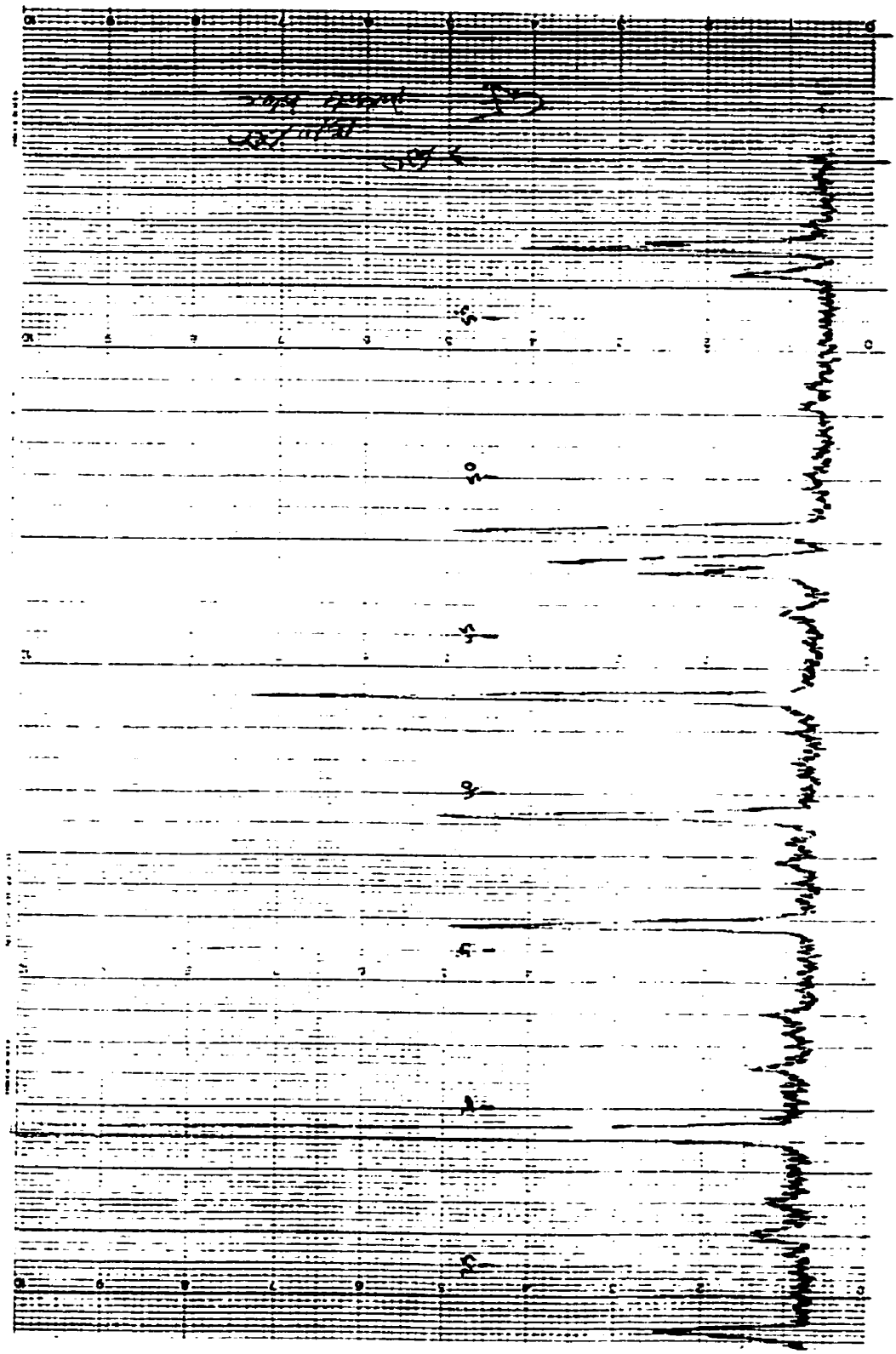
CFgrav		33-1161 Si02 Quartz, syn		19- 3 (K,Ba)(Si,Al Orthoclase,		25- 306 Ca(Ti,Mg,Al) Clinopyroxen		20- 554 NaAlSi308 Albite, orde		34- 189 Mg2Si04 Forsterite,	
14.89	10			15.00	6						
20.88	30	20.85	22	21.03	10						
21.98	15							22.06	61		
22.73	10			22.96	10					22.89	76
23.68	30			23.45	50			23.54	26		
23.98	5							24.14	21	23.89	25
24.33	10			24.57	20			24.31	34		
25.48	5							25.39	10	25.46	26
25.58	5			25.73	60			25.55	5	25.60	22
26.63	90	26.65	100	26.75	100			26.43	10		
27.38	70			27.34	50	27.61	16				
28.08	100							27.96	100		
28.38	10							28.31	30		
29.48	10										
29.83	20			29.66	50	29.80	100			29.85	18
30.27	10					30.12	34	30.12	20		
30.47	5			30.70	30	30.71	26	30.51	19		
31.47	15							31.23	9		
32.27	10			32.29	30					32.35	66
34.47	5			34.74	50	34.73	39				
35.47	15			35.45	10	35.38	44			35.75	83
36.57	5	36.54	8					36.77	9	36.55	100
37.67	4			37.60	6						
38.37	4			38.61	6	38.63	11			38.34	13
40.27	40	40.28	4			40.42	6			40.10	37
41.76	5			41.58	20	41.95	8			41.81	23
42.26	10										
42.46	10	42.46	6			42.40	15	42.51	7		
42.56	5			42.61	6	42.76	11	42.70	5		
45.41	5			45.69	6	45.70	6				
48.36	5							48.13	8	48.53	8
49.26	10					49.32	4	49.24	7		
49.46	4							49.44	4		
50.06	80	50.14	14					50.08	9		
50.61	20	50.61	1	50.67	30			50.58	5		
50.76	15										
50.96	3							51.16	10	51.02	5
51.46	4			51.22	6						
52.30	5					52.56	10	52.49	4	52.60	24
55.20	10									54.94	16
55.35	5	55.33	2	55.37	2						
58.75	10			58.72	6					58.73	11
58.85	5									58.91	8
59.90	25	59.95	9			60.03	7				
MATCHING LINES											
		20.85	22	15.00	6	27.611	16	22.06	61	22.89	76
		26.65	100	21.03	10	29.80	100	23.54	26	23.89	25
		36.54	8	22.96	10	30.12	34	24.14	21	25.46	26
		40.28	4	23.45	50	30.71	26	24.31	34	25.60	22
		42.46	6	24.57	20	34.73	39	25.39	10	29.69	14
		50.14	14	25.73	60	35.38	44	25.55	5	29.85	18
		50.61	1	26.75	100	38.63	11	26.43	10	32.35	66
		55.33	2	27.34	50	40.42	6	27.96	100	35.75	83
		59.95	9	29.66	50	41.95	8	28.31	30	36.55	100
				30.70	30	42.40	15	30.12	20	38.34	13
				32.29	30	42.76	11	30.51	19	40.10	37
				34.74	50	45.70	6	31.23	9	41.81	23
				35.45	10	49.32	4	36.77	9	48.53	8
				37.60	6	52.56	10	42.51	7	51.02	5
				38.61	6	59.73	6	42.70	5	52.28	73
				41.58	20	59.91	8	48.13	8	52.60	24
				42.61	6	60.03	7	49.24	7	54.94	16
				45.69	6			49.44	4	58.73	11
				50.67	30			49.82	9	58.91	8
				51.22	6			49.93	9		

UNACCOUNTED LINES										
	39.46	8	13.61	16	18.79	5	13.88	9	17.37	22
	45.81	4	19.32	16	20.05	6	23.06	11	38.87	13
	54.87	4	22.43	6	35.02	28	27.73	58	39.72	57
	57.24	1	25.14	25	39.89	9	33.97	7	44.59	7
	64.00	1	37.12	10	44.26	9	34.99	12	46.59	6
	65.76	1	39.67	2	44.51	21	36.95	5	52.90	6
	67.75	6	43.47	6	54.40	4	38.80	7	56.23	15
	68.13	7	43.92	6	54.59	6	41.27	5	56.89	17
	68.32	8	45.07	10	54.80	4	43.54	4	61.15	10
	73.46	2	54.76	6	55.67	12	48.02	7	61.29	9
	75.67	2	56.10	2	56.52	10	53.28	6	61.65	11
	77.66	1	57.76	2	57.01	5	63.49	5	61.85	20
	79.88	2	60.20	6	60.74	10	63.78	4	62.01	30
	80.05	1	60.90	6	65.12	11	65.14	4	62.82	33
	81.15	3	61.75	20	66.00	5	65.34	4	66.93	13
	81.47	3	62.82	2	66.31	9	69.47	6	67.14	14
	83.82	1	63.78	6	70.28	6			67.45	9
	84.97	1	64.33	6	70.60	4			69.55	22
	87.46	1			71.96	3			69.79	15
	90.86	2			73.95	4			71.69	11


2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
0900
0800
0700
0600
0500
0400
0300
0200

C. Forget Scories D:\MDI\CFSCOR.dsp 2-theta window(deg): 0.3
No. Matching Lines =2

CFSCOR		19-629 FeFe204 Magnetite, s		36-426 CaMg(C03) Dolomite		25-1402 Fe203		33-271 Ca5(P04)3Cl Chlorapatite		17-464 MgFe204	
24.18	5			24.04	4						
26.43	5					26.19	7	26.2.7	10		
29.43	10										
30.07	10	30.10	30			30.27	30			30.17	40
31.07	5			30.94	100			31.23	90		
32.17	100					32.17	3	32.28	100		
32.52	30										
33.72	50			33.54	4	33.96	4				
34.27	10							34.09	8		
35.47	20	35.42	100	35.32	3	35.69	100			35.52	100
36.47	50										
41.26	20			41.13	19			41.19	6		
42.36	90										
43.96	15			43.80	3						
45.66	20										
46.76	20										
49.76	20							50.02	14		
50.46	20			50.53	10						
56.25	10										
56.75	5	56.94	30					56.91	7		
57.25	10					57.40	20	57.38	3	57.09	30
58.35	10										
MATCHING LINES											
		30.10	30	24.04	4	26.19	7	26.27	10	30.17	40
		35.42	100	30.94	100	30.27	30	31.23	90	35.52	100
		56.94	30	33.54	4	32.17	3	32.14	90	57.09	30
				35.32	3	33.96	4	32.28	100		
				41.13	19	35.69	100	34.09	8		
				43.80	3	57.40	20	41.19	6		
				50.53	10			49.62	30		
								50.02	14		
								56.91	7		
								57.38	3		
UNACCOUNTED LINES											
		18.27	8	22.02	1	11.18	1	10.61	14	18.32	4
		37.05	8	37.38	7	12.75	2	16.84	8	37.15	2
		43.05	20	44.95	10	15.00	6	21.34	6	43.17	25
		53.39	10	45.16	1	16.62	1	22.67	3	53.58	14
		62.52	40	49.29	3	18.39	6	25.06	8	62.68	35
		65.74	2	51.07	13	20.69	2	28.31	10	71.15	6
		70.93	4	51.28	2	23.84	6	34.84	3	74.20	8
		73.95	10	52.36	1	27.86	3	38.87	18	79.24	2
		74.96	4	58.90	2	37.31	2	38.94	20	87.00	4
		78.93	2	59.83	4	38.87	2	42.01	5	89.93	12
		86.70	4	60.01	1	40.42	2	44.28	5	94.74	6
		89.62	12	62.01	1	43.34	15	46.20	25	102.60	4
		94.43	6	63.43	2	48.79	1	47.40	4	105.61	8
		102.23	2	64.5	2	50.08	3	47.54	5	110.77	2
		105.22	6	65.15	1	53.85	9	49.42	14	119.22	1
		106.21	4	66.08	1	54.94	2	51.38	5	122.64	6
		110.27	4	67.39	2	59.6	2	54.13	8	128.56	10
		118.74	2	69.96	1	60.68	3	55.02	3	139.52	4
		122.12	6	70.48	1	63.01	40	61.92	3	143.97	8
		128.04	8	72.87	1	71.53	6	62.19	4		



Keyboard Input C:\MDI\temp.dsp 2-theta window(deg): .30
No. Matching Lines = 3

temp		50-25 Calcite CA C 03		5-586 CaC03 Calcite, syn		41-1475 CaC03 Aragonite	
22.88	15	23.02	12	23.02	12		
25.98	5					26.21	100
27.08	5					27.22	50
29.18	100	29.40	100	29.41	100		
31.27	5	31.41	3	31.42	3	31.12	6
32.97	5					33.13	60
35.77	35	35.96	14	35.97	14		
37.77	5					37.88	45
38.47	4					38.61	25
39.27	40	39.40	18	39.40	18		
41.96	3						
43.01	50	43.14	18	43.15	18	42.87	20
45.71	5					45.85	55
46.96	20	47.12	5	47.12	5		
47.36	35	47.49	17	47.49	17		
48.26	40	48.51	17	48.51	17	48.44	25
52.25	3					52.46	25
52.75	2					53.02	16
56.35	10	56.55	4	56.55	4	56.14	3
57.15	25	57.40	8	57.40	8		
MATCHING LINES							
		23.02	12	23.02	12	26.21	100
		29.40	100	29.41	100	27.22	50
		31.41	3	31.42	3	31.12	6
		35.96	14	35.97	14	32.74	9
		39.40	18	39.40	18	33.13	60
		43.14	18	43.15	18	37.88	45
		47.12	5	47.12	5	38.40	25
		47.49	17	47.49	17	38.61	25
		48.51	17	48.51	17	42.87	20
		56.55	4	56.55	4	45.85	55
		57.40	8	57.40	8	48.32	25
						48.44	25
						52.46	25
						52.91	12
						53.02	16
						56.14	3
UNACCOUNTED LINES							
		58.07	2	58.07	2	21.08	3
		60.67	5	60.68	5	36.18	40
		60.98	4	60.99	4	37.26	14
		61.34	3	61.35	3	41.19	12
		63.06	2	63.06	2	41.62	2
		64.67	5	64.68	5	49.86	4
		65.59	3	65.6	3	50.23	20
		69.23	1	69.23	1	51.92	3
		70.23	2	70.24	2	59.23	4
		72.86	2	72.87	2	61.83	4
		73.72	1	76.3	1	63.34	4
		76.3	1	77.18	2	66.06	3
		77.17	2	81.55	3	66.19	4
		81.5	3	83.77	3	66.55	3
		83.74	3	84.79	1	69.04	5
		84.74	1	94.7	3	69.66	3
		86.52	1	95.01	4	75.27	5
		93.1	1	96.16	2	76.61	3
		94.73	3	97.65	1	76.76	4
		94.97	4	99.16	2	77.07	6

ANNEXE 5 - MONTAGE DES COLONNES

Colonne A1
Serpentine 1/8"

Date 10/09/2000
Diamètre (cm) 15.20
Gs: 2.687
% Eau 0.70

Hauteur cm	Diff. hauteur cm	Masse ajoutée g	Volume cm3	Masse vol. humide g/cm³	Masse vol. sèche g/cm³	e	n	Saturation
50.20								
45.80	4.40	1307.2	798.42	1.637	1.626	0.653	39.5	2.9
41.40	4.40	1300.1	798.42	1.628	1.617	0.662	39.8	2.8
37.10	4.30	1300.5	780.27	1.667	1.655	0.623	38.4	3.0
32.70	4.40	1300.8	798.42	1.629	1.618	0.661	39.8	2.8
28.20	4.50	1302.4	816.56	1.595	1.584	0.696	41.1	2.7
23.70	4.50	1300.3	816.56	1.592	1.581	0.699	41.1	2.7
19.40	4.30	1304.1	780.27	1.671	1.660	0.619	38.2	3.0
14.90	4.50	1301.0	816.56	1.593	1.582	0.698	41.1	2.7
10.50	4.40	1300.3	798.42	1.629	1.617	0.661	39.8	2.8
6.10	4.40	1302.0	798.42	1.631	1.619	0.659	39.7	2.8
1.90	4.20	1302.2	762.13	1.709	1.697	0.584	36.9	3.2
	1.90	274.4	163.31	1.680	1.669	0.610	37.9	3.1
Total	**50.20**	**14595**	**8928**	**1.64**	**1.627**	**0.652**	**39.45**	**2.9**

Teneur en eau massique

				%
123	579.9	576.9	129.4	0.7
7	605.3	602.0	133.0	0.7
2	665.4	661.6	134.8	0.7
			Moyenne	**0.7**

Colonne A2
Serpentine 1/8"

Date: 10/09/2000
Diamètre (cm) 15.20
Gs: 2.687
% Eau 0.61

Hauteur cm	Diff. hauteur cm	Masse ajoutée g	Volume cm3	Masse vol. humide g/cm³	Masse vol. sèche g/cm³	e	n	Saturation
49.00								
44.50	4.50	1302.3	816.56	1.595	1.585	0.695	41.0	2.4
39.90	4.60	1300.5	834.71	1.558	1.549	0.735	42.4	2.2
36.10	3.80	1300.3	689.54	1.886	1.874	0.434	30.2	3.8
31.70	4.40	1305.8	798.42	1.635	1.626	0.653	39.5	2.5
27.40	4.30	1301.5	780.27	1.668	1.658	0.621	38.3	2.7
23.00	4.40	1300.2	798.42	1.628	1.619	0.660	39.8	2.5
18.70	4.30	1306.2	780.27	1.674	1.664	0.615	38.1	2.7
14.20	4.50	1299.5	816.56	1.591	1.582	0.699	41.1	2.4
9.90	4.30	1300.9	780.27	1.667	1.657	0.622	38.3	2.6
5.60	4.30	1306.9	780.27	1.675	1.665	0.614	38.0	2.7
	5.60	1309.7	834.71	1.569	1.559	0.723	42.0	2.3
Total	**49.00**	**14334**	**8710**	**1.650**	**1.640**	**0.643**	**38.96**	**2.6**

Teneur en eau massique

				%
15	406.4	404.9	132.4	0.6
10	459.1	457.1	132.7	0.6
3	525.2	522.6	134.8	0.7
			Moyenne	**0.6**

Colonne B1
Serpentine 1/8" + Calcaire 2,5-5 mm

Date 10/09/2000
Diamètre (cm) 15.00
Gs: 2.770
% Eau 0.30

Hauteur cm	Diff. hauteur cm	Masse ajoutée g	Volume cm3	Masse vol. humide g/cm³	Masse vol. sèche g/cm³	e	n	Saturation
48.50								
44.50	4.00	1301.3	706.86	1.841	1.835	0.509	33.7	1.6
40.60	3.90	1304.0	689.19	1.892	1.886	0.468	31.9	1.8
36.50	4.10	1302.1	724.53	1.797	1.792	0.546	35.3	1.5
32.40	4.10	1301.7	724.53	1.797	1.791	0.546	35.3	1.5
28.20	4.20	1311.9	742.20	1.768	1.762	0.572	36.4	1.5
24.20	4.00	1313.8	706.86	1.859	1.853	0.495	33.1	1.7
20.00	4.20	1304.4	742.20	1.757	1.752	0.581	36.7	1.4
16.00	4.00	1300.6	706.86	1.840	1.834	0.510	33.8	1.6
11.80	4.20	1307.0	742.20	1.761	1.756	0.578	36.6	1.4
7.60	4.20	1306.1	742.20	1.760	1.754	0.579	36.7	1.4
3.40	4.20	1300.8	742.20	1.753	1.747	0.585	36.9	1.4
	3.40	642.1	388.77	1.652	1.647	0.682	40.5	1.2
Total	**48.50**	**14996**	**8359**	**1.790**	**1.784**	**0.554**	**35.58**	**1.5**

Teneur en eau massique

				%
5	449.0	448.0	133.3	0.3
8	501.4	500.3	134.0	0.3
13	414.5	413.7	131.7	0.3
			Moyenne	**0.3**

Colonne B2
Serpentine 1/8" + Calcaire 2,5-5 mm

Date 10/09/2000
Diamètre (cm) 15.20
Gs: 2.770
% Eau 0.27

Hauteur cm	Diff. hauteur cm	Masse ajoutée g	Volume cm3	Masse vol. humide g/cm³	Masse vol. sèche g/cm³	e	n	Saturation
50.30								
46.10	4.20	1305.9	762.13	1.713	1.709	0.621	38.3	1.2
42.00	4.10	1301.2	743.98	1.749	1.744	0.588	37.0	1.3
37.80	4.20	1302.0	762.13	1.708	1.704	0.626	38.5	1.2
33.70	4.10	1300.2	743.98	1.748	1.743	0.589	37.1	1.3
29.60	4.10	1302.8	743.98	1.751	1.746	0.586	36.9	1.3
25.40	4.20	1303.1	762.13	1.710	1.705	0.624	38.4	1.2
21.30	4.10	1317.2	743.98	1.770	1.766	0.569	36.3	1.3
17.20	4.10	1301.2	743.98	1.749	1.744	0.588	37.0	1.3
13.00	4.20	1303.3	762.13	1.710	1.705	0.624	38.4	1.2
8.70	4.30	1301.8	780.27	1.668	1.664	0.665	39.9	1.1
4.50	4.20	1300.7	762.13	1.707	1.702	0.627	38.5	1.2
	4.50	1100.7	635.11	1.733	1.728	0.602	37.6	1.3
Total	**50.30**	**15440**	**8946**	**1.726**	**1.722**	**0.609**	**37.8**	**1.2**

Teneur en eau massique

				%
4	394.2	393.5	134.5	0.3
14	461.7	460.6	132.1	0.3
16	482.0	481.2	104.1	0.2
			Moyenne	**0.3**

Colonne C1
Scories d'acier 2,5-10 mm

Date 15/06/2000
Diamètre (cm) 15.3
Gs: 3.784
% Eau 1.59

Hauteur	Diff. hauteur	Masse ajoutée	Volume	Masse vol.	Masse vol.	e	n	Saturation
cm	cm	g	cm3	humide	sèche			
49.80				g/cm³	g/cm³			
48.20	1.60	657.0	294.17	2.233	2.199	0.721	41.9	8.3
46.30	1.90	753.5	349.32	2.157	2.123	0.782	43.9	7.7
44.30	2.00	753.7	367.71	2.050	2.018	0.875	46.7	6.9
42.40	1.90	750.6	349.32	2.149	2.115	0.789	44.1	7.6
38.90	3.50	1498.5	643.49	2.329	2.292	0.651	39.4	9.2
35.00	3.90	1500.3	717.03	2.092	2.060	0.837	45.6	7.2
31.00	4.00	1499.5	735.42	2.039	2.007	0.885	47.0	6.8
27.40	3.60	1501.9	661.88	2.269	2.234	0.694	41.0	8.7
23.50	3.90	1501.2	717.03	2.094	2.061	0.836	45.5	7.2
19.60	3.90	1499.8	717.03	2.092	2.059	0.838	45.6	7.2
15.50	4.10	1504.8	753.80	1.996	1.965	0.926	48.1	6.5
11.40	4.10	1502.8	753.80	1.994	1.962	0.928	48.1	6.5
7.80	3.60	1499.0	661.88	2.265	2.229	0.697	41.1	8.6
3.50	4.30	1530.2	790.57	1.936	1.905	0.986	49.6	6.1
2.00	1.50	645.9	275.78	2.342	2.305	0.641	39.1	9.4
	2.00	283.0	128.70	2.199	2.165	0.748	42.8	8.0
Total	**49.80**	**18882**	**8917**	**2.136**	**2.102**	**0.806**	**44.4**	**7.6**

Teneur en eau massique %

116	580.2	572.6	127.3	1.7
121	701.1	691.4	123.7	1.7
102	577.4	571.4	125.6	1.3
			Moyenne	**1.6**

Colonne C2
Scories d'acier 2,5-10 mm

Date 15/06/2000
Diamètre (cm) 15.3
Gs: 3.784
% Eau 1.76

Hauteur	Diff. hauteur	Masse ajoutée	Volume	Masse vol.	Masse vol.	e	n	Saturation
cm	cm	g	cm3	humide	sèche			
49.90				g/cm³	g/cm³			
45.80	4.10	1503.0	753.80	1.994	1.959	0.931	48.2	7.1
42.00	3.80	1512.8	698.65	2.165	2.128	0.778	43.8	8.5
38.20	3.80	1502.2	698.65	2.150	2.113	0.791	44.2	8.4
34.30	3.90	1501.2	717.03	2.094	2.058	0.839	45.6	7.9
30.60	3.70	1511.4	680.26	2.222	2.183	0.733	42.3	9.1
26.60	4.00	1504.1	735.42	2.045	2.010	0.883	46.9	7.5
22.60	4.00	1504.1	735.42	2.045	2.010	0.883	46.9	7.5
18.70	3.90	1502.2	717.03	2.095	2.059	0.838	45.6	7.9
14.80	3.90	1524.7	717.03	2.126	2.090	0.811	44.8	8.2
10.80	4.00	1501.9	735.42	2.042	2.007	0.885	47.0	7.5
6.90	3.90	1513.5	717.03	2.111	2.074	0.824	45.2	8.1
3.00	3.90	1508.4	717.03	2.104	2.067	0.830	45.4	8.0
	3.00	581.4	275.78	2.108	2.072	0.826	45.2	8.0
Total	**49.90**	**18671**	**8899**	**2.100**	**2.064**	**0.835**	**45.5**	**8.0**

Teneur en eau massique %

121	602.5	593.0	122.6	2.0
116	602.4	595.3	127.3	1.5
100	545.3	537.6	92.9	1.7
			Moyenne	**1.8**

Colonne D1
Scories d'acier 2,5-10 mm

Date 15/06/2000
Diamètre (cm) 15.30
Gs: 3.586
% Eau 0.51

Hauteur	Diff. hauteur	Masse ajoutée	Volume	Masse vol.	Masse vol.	e	n	Saturation
cm	cm	g	cm3	humide	sèche			
48.90				g/cm³	g/cm³			
44.70	4.20	1506.2	772.19	1.951	1.941	0.848	45.9	2.1
41.00	3.70	1507.0	680.26	2.215	2.204	0.627	38.5	2.9
36.90	4.10	1500.3	753.80	1.990	1.980	0.811	44.8	2.2
33.10	3.80	1500.7	698.65	2.148	2.137	0.678	40.4	2.7
29.00	4.10	1496.3	753.80	1.985	1.975	0.816	44.9	2.2
25.20	3.80	1503.0	698.65	2.151	2.140	0.675	40.3	2.7
21.00	4.20	1505.1	772.19	1.949	1.939	0.849	45.9	2.1
16.90	4.10	1504.9	753.80	1.996	1.986	0.805	44.6	2.3
12.70	4.20	1503.9	772.19	1.948	1.938	0.851	46.0	2.1
8.50	4.20	1497.6	772.19	1.939	1.930	0.858	46.2	2.1
4.40	4.10	1497.7	753.80	1.987	1.977	0.814	44.9	2.2
	4.40	1350.6	625.10	2.161	2.150	0.668	40.1	2.7
Total	**48.90**	**17873**	**8807**	**2.035**	**2.025**	**0.775**	**43.5**	**2.4**

Teneur en eau massique

				%
112	665.5	662.8	125.4	0.5
100	426.3	424.6	92.9	0.5
			Moyenne	**0.5**

Colonne D2
79% Scories d'acier + 21% Calcaire 2,5-5 mm

Date 15/06/2000
Diamètre (cm) 15.30
Gs: 3.586
% Eau 1.25

Hauteur	Diff. hauteur	Masse ajoutée	Volume	Masse vol.	Masse vol.	e	n	Saturation
cm	cm	g	cm3	humide	sèche			
50.00				g/cm³	g/cm³			
46.10	3.90	1504.9	717.03	2.099	2.073	0.730	42.2	6.1
42.30	3.80	1501.8	698.65	2.150	2.123	0.689	40.8	6.5
38.50	3.80	1501.7	698.65	2.149	2.123	0.689	40.8	6.5
34.70	3.80	1503.6	698.65	2.152	2.126	0.687	40.7	6.5
30.80	3.90	1501.4	717.03	2.094	2.068	0.734	42.3	6.1
26.90	3.90	1500.4	717.03	2.093	2.067	0.735	42.4	6.1
23.10	3.80	1510.2	698.65	2.162	2.135	0.680	40.5	6.6
18.90	4.20	1500.1	772.19	1.943	1.919	0.869	46.5	5.2
14.80	4.10	1512.2	753.80	2.006	1.981	0.810	44.7	5.5
10.80	4.00	1502.1	735.42	2.043	2.017	0.778	43.7	5.8
6.70	4.10	1514.0	753.80	2.008	1.984	0.808	44.7	5.6
2.30	4.40	1505.1	808.96	1.861	1.838	0.952	48.8	4.7
	2.30	303.8	128.70	2.361	2.331	0.538	35.0	8.3
Total	**50.00**	**18361**	**8899**	**2.086**	**2.060**	**0.746**	**42.5**	**6.1**

Teneur en eau massique

				%
102	596.8	590.1	125.9	1.4
112	475.6	471.0	125.4	1.3
122	243.7	242.5	119.9	1.0
			Moyenne	**1.3**

Colonne F1
Gravier 5 mm lavé (Sables L.G.)

Date	28/06/2000
Diamètre (cm)	15.30
Gs:	2.760
% Eau	0.10

Hauteur	Diff. hauteur	Masse ajoutée	Volume	Masse vol.	Masse vol.	e	n	Saturation
cm	cm	g	cm3	humide	sèche			
49.90				g/cm³	g/cm³			
44.40	5.50	1500.8	1011.20	1.484	1.483	0.861	46.3	0.3
39.70	4.70	1501.3	864.12	1.737	1.736	0.590	37.1	0.5
34.60	5.10	1505.4	937.66	1.605	1.604	0.721	41.9	0.4
29.60	5.00	1501.1	919.27	1.633	1.631	0.692	40.9	0.4
24.50	5.10	1501.0	937.66	1.601	1.599	0.726	42.1	0.4
19.60	4.90	1502.8	900.89	1.668	1.666	0.656	39.6	0.4
14.50	5.10	1502.2	937.66	1.602	1.600	0.724	42.0	0.4
9.30	5.20	1499.5	956.04	1.568	1.567	0.761	43.2	0.4
4.10	5.20	1503.7	956.04	1.573	1.571	0.757	43.1	0.4
	4.10	850.6	588.33	1.446	1.444	0.911	47.7	0.3
Total	**49.90**	**14368**	**9009**	**1.592**	**1.590**	**0.740**	**42.4**	**0.4**

Teneur en eau massique

				%
106	471.7	471.4	127.4	0.1
105	550.8	550.4	128.5	0.1
111	471.7	471.3	120.4	0.1
			Moyenne	**0.1**

Colonne F2
Gravier 5 mm lavé (Sables L.G.)

Date	28/06/2000
Diamètre (cm)	15.30
Gs:	2.760
% Eau	0.07

Hauteur	Diff. hauteur	Masse ajoutée	Volume	Masse vol.	Masse vol.	e	n	Saturation
cm	cm	g	cm3	humide	sèche			
50.00				g/cm³	g/cm³			
44.90	5.10	1502.5	937.66	1.602	1.601	0.724	42.0	0.3
39.80	5.10	1501.1	937.66	1.601	1.600	0.725	42.0	0.3
34.70	5.10	1509.1	937.66	1.609	1.608	0.716	41.7	0.3
29.50	5.20	1500.4	956.04	1.569	1.568	0.760	43.2	0.3
24.40	5.10	1506.2	937.66	1.606	1.605	0.719	41.8	0.3
19.30	5.10	1510.2	937.66	1.611	1.609	0.715	41.7	0.3
14.30	5.00	1502.2	919.27	1.634	1.633	0.690	40.8	0.3
9.10	5.20	1503.0	956.04	1.572	1.571	0.757	43.1	0.3
3.80	5.30	1502.4	974.43	1.542	1.541	0.791	44.2	0.2
1.60	2.20	649.9	404.48	1.607	1.606	0.719	41.8	0.3
Total	**48.40**	**14187**	**8899**	**1.595**	**1.594**	**0.732**	**42.2**	**0.3**

Teneur en eau massique

				%
123	427.7	427.5	129.4	0.1
126	385.2	385.0	105.5	0.1
			Moyenne	**0.1**

ANNEXE 6 - SUIVI EXPÉRIMENTAL

COLONNE A-1

Échantillon: Serpentine 1/8"
Volume des vides: 3522.1 cm^3
Débit visé: 2,4 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 15595
H sortie: 76 cm

Première série d'essais (C_0 = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essai (d)	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon mL	Commentaires
11/09/2000 19:30	0	0	-	-	0.0		poids colonne : 33310g
11/09/2000 22:02	0.1	0.17	1.1	2.2	0.05		Ajustement du débit
12/09/2000 13:23	0.7	1.38	1.5	1.6	0.44	A1-1 : 125	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	1.8				0.44		Arrêt
14/09/2000 11:37	1.8				0.44		Mise en marche
14/09/2000 12:45	1.8	3.195	1.1	2.2	1.35		Ajustement du débit
15/09/2000 16:05	3.0	3.375	2.1	1.2	2.31	A1-2 : 115	Ajustement du débit
15/09/2000 16:58	3.0				2.31		
18/09/2000 13:49	5.9	6.97	1.7	1.4	4.28	A1-3 :150	Ajustement du débit
18/09/2000 14:45	5.9				4.28		
19/09/2000 16:55	7.0	3.72	2.4	1.0	5.34		
20/09/2000 15:04	7.9	3.05	2.3	1.1	6.21		
21/09/2000 15:13	9.0	3.16	2.2	1.1	7.10	A1-4 : 110	Ajustement du débit
21/09/2000 15:59	9.0				7.10		
22/09/2000 10:35	9.8	2.45	2.2	1.1	7.80		Ajustement du débit
26/09/2000 11:43	13.8	14.1	2.4	1.0	11.80	A1-5 : 210	Ajustement du débit
26/09/2000 13:24	13.9				11.80		
28/09/2000 15:01	15.9	7.12	2.4	1.0	13.82		Ajustement du débit
01/10/2000 21:35	19.2	12.52	2.7	0.9	17.38		Ajustement du débit
01/10/2000 21:35	19.2				17.38		
03/10/2000 14:51	20.9	5.32	2.1	1.1	18.89	A1-6 : 120	Ajustement du débit
03/10/2000 15:38	21.0				18.89		
06/10/2000 09:28	23.7	9.77	2.5	1.0	21.66	A1-7 : 180	Ajustement du débit
06/10/2000 10:39	23.8				21.66		
09/10/2000 14:37	26.9	10.01	2.2	1.1	24.51	A1-8 : 160	
09/10/2000 15:43	27.0				24.51		
12/10/2000 15:30	30.0	9.69	2.2	1.1	27.26	A1-9 : 190	
12/10/2000 16:38	30.0				27.26		
16/10/2000 15:56	34.0	12.25	2.1	1.1	30.73	A1-10 : 190	Ajustement du débit
16/10/2000 17:09	34.0				30.73		
19/10/2000 16:03	37.0	10.81	2.5	1.0	33.80	A1-11 : 230	Ajustement du débit
19/10/2000 17:37	37.1				33.80		
21/10/2000 18:43	39.1	6.36	2.2	1.1	35.61		
23/10/2000 17:08	41.0	5.79	2.1	1.2	37.25		Ajustement du débit
23/10/2000 17:08	41.0				37.25		
24/10/2000 14:37	41.9	3.23	2.5	1.0	38.17	A1-12 : 170	
24/10/2000 15:36	42.0				38.17		
26/10/2000 16:15	44.0	6.82	2.3	1.0	40.11		
27/10/2000 15:02	44.9	2.95	2.2	1.1	40.94	A1-13 : 220	
27/10/2000 16:29	45.0				40.94		
30/10/2000 13:56	47.9	8.63	2.1	1.2	43.39	A1-14 : 240	
30/10/2000 15:24	48.0				43.39		
02/11/2000 17:12	51.0	10.2	2.3	1.1	46.29	A1-15 : 150	
02/11/2000 18:05	51.1				46.29		
06/11/2000 17:02	55.0	13.26	2.3	1.1	50.06	A1-16 : 220	
06/11/2000 19:22	55.1				50.06		
09/11/2000 14:24	57.9	9.29	2.3	1.1	52.69	A1-17 : 300	
09/11/2000 14:24	57.9				52.69		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE ou TOTAL	**57.9**	**185.6**	**2.2**	**1.1**	**52.69**		

Deuxième série d'essais (C_o = 400 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essai (d)	Volume sortie L	Débit moyen cm3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
29/11/2000 12:25	57.9	0			52.69		Début de l'essai, conc.=400 mg P/l
29/11/2000 15:41	58.1	0.45	2.3	1.1	52.82		
29/11/2000 18:11	58.2	0.34	2.3	1.1	52.92		
30/11/2000 10:16	58.8	2.12	2.2	1.1	53.52	A1-18 : 130	
30/11/2000 11:11	58.9				53.52		
30/11/2000 15:18	59.0	0.56	2.3	1.1	53.68	A1-19 : 140	
30/11/2000 16:14	59.1				53.68		
01/12/2000 14:02	60.0	2.75	2.1	1.2	54.46	A1-20 : 140	Ajustement du débit
01/12/2000 14:53	60.0				54.46		
01/12/2000 18:40	60.2	0.52	2.3	1.1	54.61		
02/12/2000 18:11	61.2	2.81	2.0	1.2	55.40	A1-21 : 200	Colmatage, Ajustement du débit
02/12/2000 20:02	61.2				55.40		
03/12/2000 12:50	61.9	1.41	1.4	1.7	55.80	A1-22 : 60	Ajustement du débit
03/12/2000 13:25	62.0				55.80		
04/12/2000 15:00	63.0	1.36	0.9	2.8	56.19		Ajustement du débit
05/12/2000 12:49	63.9	1.99	1.5	1.6	56.76	A1-23 : 270	Ajustement du débit
05/12/2000 14:00	64.0				56.76		
07/12/2000 15:53	66.1	0.84	0.3	8.7	56.99	A1-24 : 140	Ajustement du débit
07/12/2000 17:05	66.1				56.99		
08/12/2000 15:27	67.0	1.36	1.0	2.4	57.38		Ajustement du débit
10/12/2000 17:02	69.1	1.63	0.5	4.5	57.84		
11/12/2000 19:21	70.2	1.7	1.1	2.3	58.33	A1-25 : 80	Ajustement du débit
12/12/2000 17:30	71.1	1.41	1.1	2.3	58.73		
12/12/2000 17:30	71.1				58.73		
13/12/2000 15:20	72.0	0.53	0.4	6.0	58.88	A1-26 : 90	Ajustement du débit
13/12/2000 15:52	72.1				58.88		
14/12/2000 16:58	73.1	1.02	0.7	3.6	59.17		Ajustement du débit
15/12/2000 14:34	74.0	0.86	0.7	3.7	59.41	A1-27 : 80	Ajustement du débit
15/12/2000 15:22	74.0				59.41		
16/12/2000 16:22	75.1	1.55	1.0	2.4	59.85		Ajustement du débit
18/12/2000 11:14	76.9	1.98	0.8	3.2	60.41	A1-28: 80	Ajustement du débit
18/12/2000 11:52	76.9				60.41		
19/12/2000 16:58	78.1	2.29	1.3	1.9	61.06		Ajustement du débit
20/12/2000 11:53	78.9	0.65	0.6	4.3	61.25	A1-29: 80	Ajustement du débit
21/12/2000 15:52	80.1	1.2	0.7	3.4	61.59		Arrêt
04/01/2001 15:18	80.1	0			61.59		Mise en marche
05/01/2001 19:30	81.3	1.62	1.0	2.6	62.05		Ajustement du débit
05/01/2001 19:30	81.3				62.05		
06/01/2001 17:00	82.2	0.05	0.0	63.1	62.06		Ajustement du débit
08/01/2001 15:45	84.1	3.06	1.1	2.2	62.93		Ajustement du débit
09/01/2001 18:22	85.2	1.25	0.8	3.1	63.29		Ajustement du débit
10/01/2001 16:20	86.1	1.28	1.0	2.5	63.65	A1-30: 80	Ajustement du débit
10/01/2001 16:51	86.2				63.65		
11/01/2001 17:06	87.2	1.11	0.8	3.2	63.96		Ajustement du débit
15/01/2001 16:26	91.1	0.6	0.1	23.3	64.14		Géotextile colmaté!
16/01/2001 15:15	92.1	0.56	0.4	6.0	64.29	A1-31: 30	
16/01/2001 16:38	92.2				64.29		
17/01/2001 14:34	93.1	0.45	0.3	7.2	64.42		
18/01/2001 20:11	94.3	0.93	0.5	4.7	64.69		
18/01/2001 20:11	94.3				64.69		
21/01/2001 14:56	97.1	3.53	0.9	2.8	65.69		
22/01/2001 16:28	98.1	0.82	0.5	4.6	65.92		
23/01/2001 17:04	99.2	0.57	0.4	6.3	66.08	A1-32: 30	
23/01/2001 17:34	99.2				66.08		
24/01/2001 10:33	99.9	0.42	0.4	5.9	66.20		
27/01/2001 15:51	103.1	1.96	0.4	5.8	66.76		
31/01/2001 16:21	107.1	2.91	0.5	4.9	67.58	A1-33: 30	
31/01/2001 16:49	107.2				67.58		
02/02/2001 18:17	109.2	2.11	0.7	3.4	68.18		
04/02/2001 14:56	111.1	2.14	0.8	3.1	68.79		
05/02/2001 18:46	112.2	1.29	0.8	3.2	69.16	A1-34: 30	
05/02/2001 19:07	112.3				69.16		
06/02/2001 18:39	113.2	1.39	1.0	2.5	69.55		
07/02/2001 17:49	114.2	1.47	1.1	2.3	69.97		
MOYENNE ou TOTAL	**114.2**	**60.9**	**0.8**	**3.3**	**17.28**		

COLONNE A-2

Échantillon: Serpentine 1/8"
Volume des vides: 3395.158 cm^3
Débit visé: 2,4 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 14334
H sortie: 76 cm

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
11/09/2000 19:40	0.0	0	-	-	0.0		poids colonne : 33370g
11/09/2000 22:07	0.1	0.21	1.4	1.7	0.1		Ajustement du débit
12/09/2000 13:31	0.7	2.56	2.8	0.9	0.8	A2-1 : 150	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	1.8				0.8		Arrêt
14/09/2000 11:37	2.7				0.8		Mise en marche
14/09/2000 12:57	2.7	7.56	94.5	0.0	3.0		Ajustement du débit
15/09/2000 16:09	3.9	3.83	2.3	1.0	4.2	A2-2 : 120	
15/09/2000 16:58	3.9				4.2		
18/09/2000 13:52	6.8	8.55	2.1	1.1	6.7	A2-3 : 150	
18/09/2000 14:49	6.8				6.7		
19/09/2000 16:57	7.9	3.55	2.3	1.0	7.7		
20/09/2000 15:06	8.8	3.03	2.3	1.0	8.6		
21/09/2000 15:17	9.8	3.06	2.1	1.1	9.5	A2-4 : 150	
21/09/2000 16:17	9.9				9.5		
22/09/2000 10:40	10.6	2.55	2.3	1.0	10.3		Ajustement du débit
26/09/2000 11:50	14.7	12.27	2.1	1.1	13.9	A2-5 : 230	Ajustement du débit
26/09/2000 13:24	14.7				13.9		
28/09/2000 15:09	16.8	7.13	2.4	1.0	16.0		
01/10/2000 21:39	20.1	11.65	2.5	1.0	19.4		Ajustement du débit
01/10/2000 21:39	20.1				19.4		
03/10/2000 14:58	21.8	5.11	2.1	1.1	20.9	A2-6 : 120	Ajustement du débit
03/10/2000 15:41	21.8				20.9		
06/10/2000 09:36	24.6	8.79	2.2	1.1	23.5	A2-7 : 130	Ajustement du débit
06/10/2000 10:39	24.6				23.5		
09/10/2000 14:39	27.8	7.85	1.7	1.4	25.8	A2-8 : 160	Ajustement du débit
09/10/2000 15:43	27.8				25.8		
12/10/2000 15:32	30.8	9.39	2.2	1.1	28.6	A2-9 : 160	Ajustement du débit
12/10/2000 16:38	30.9				28.6		
16/10/2000 16:03	34.8	11.57	2.0	1.2	32.0	A2-10 : 170	Ajustement du débit
16/10/2000 17:09	34.9				32.0		
19/10/2000 16:10	37.9	11.3	2.7	0.9	35.3	A2-11 : 230	Ajustement du débit
19/10/2000 17:37	37.9				35.3		
21/10/2000 18:44	40.0	6.8	2.3	1.0	37.3		Ajustement du débit
23/10/2000 17:15	41.9	5.41	1.9	1.2	38.9		Ajustement du débit
23/10/2000 17:15	41.9				38.9		
24/10/2000 14:39	42.8	2.77	2.2	1.1	39.7	A2-12 : 140	
24/10/2000 15:36	42.8				39.7		
26/10/2000 16:18	44.9	6.34	2.2	1.1	41.6		Ajustement du débit
27/10/2000 15:04	45.8	3.4	2.5	0.9	42.6	A2-13 : 220	Ajustement du débit
27/10/2000 16:29	45.9				42.6		
30/10/2000 14:15	48.8	8.9	2.1	1.1	45.2	A2-14 : 280	Ajustement du débit
30/10/2000 16:07	48.9				45.2		
02/11/2000 17:19	51.9	11.28	2.6	0.9	48.6	A2-15 : 135	Ajustement du débit
02/11/2000 18:05	51.9				48.6		
06/11/2000 17:10	55.9	11.86	2.1	1.1	52.1	A2-16 : 190	Ajustement du débit
06/11/2000 19:22	56.0				52.1		
09/11/2000 14:46	58.8	9.06	2.2	1.1	54.7	A2-17 : 300	Ajustement du débit
09/11/2000 16:26	58.9						FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**58.9**	**185.8**	**2.2**	**1.1**	**54.7**		

COLONNE B-1

Échantillon: Serpentine 1/8" + calcaire 2,5-5 mm
Volume des vides: 2974 cm^3
Débit visé: 2,1 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 14996
H sortie: 76 cm

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essai (d)	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour vol de pores/d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
11/09/2000 19:51	0.0	0	-	-	0.0		poids colonne : 33670g
11/09/2000 22:14	0.1	0.13	0.9	2.3	0.0		Ajustement du débit
12/09/2000 13:36	0.7	0.62	0.7	3.1	0.3	B1-1 : 120	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	1.8				0.3		Arrêt
14/09/2000 11:37	1.8				0.3		Mise en marche
14/09/2000 13:02	1.9	4.4	1.5	1.3	1.7		Ajustement du débit
15/09/2000 16:13	3.0	3.19	2.0	1.1	2.8	B1-2 : 100	Ajustement du débit
15/09/2000 16:58	3.0				2.8		
18/09/2000 13:56	5.9	5.55	1.3	1.5	4.7	B1-3 : 150	Ajustement du débit
18/09/2000 14:54	5.9				4.7		
19/09/2000 16:59	7.0	3.44	2.2	0.9	5.8		
20/09/2000 15:09	7.9	2.46	1.8	1.1	6.7		Ajustement du débit
21/09/2000 15:20	9.0	2.91	2.0	1.0	7.6	B1-4 : 120	Ajustement du débit
21/09/2000 16:18	9.0				7.6		
22/09/2000 10:43	9.8	1.92	1.7	1.2	8.3		Ajustement du débit
26/09/2000 11:53	13.8	10.31	1.8	1.2	11.7	B1-5 :200	Ajustement du débit
26/09/2000 13:27	13.9				11.7		
28/09/2000 15:12	15.9	6.41	2.1	1.0	13.9		Ajustement du débit
01/10/2000 21:46	19.2	8.45	1.8	1.2	16.7		Ajustement du débit
01/10/2000 21:46	19.2				16.7		
03/10/2000 15:01	20.9	1.76	0.7	2.9	17.3	B1-6 : 110	Ajustement du débit
03/10/2000 15:48	21.0				17.3		
06/10/2000 09:44	23.7	7.05	1.8	1.2	19.7	B1-7 : 120	
06/10/2000 10:49	23.8				19.7		
09/10/2000 14:45	26.9	5.61	1.2	1.7	21.6	B1-8 : 140	Ajustement du débit
09/10/2000 15:43	27.0				21.6		
12/10/2000 15:40	30.0	9.57	2.2	0.9	24.8	B1-9 : 120	Ajustement du débit
12/10/2000 16:38	30.0				24.8		
16/10/2000 16:09	34.0	9.99	1.7	1.2	28.2	B1-10 : 140	Ajustement du débit
16/10/2000 17:09	34.0				28.2		
19/10/2000 16:16	37.0	11.18	2.6	0.8	31.9	B1-11 : 210	Ajustement du débit
19/10/2000 17:55	37.1				31.9		
21/10/2000 18:51	39.1	5.89	2.0	1.0	33.9		
23/10/2000 17:20	41.0	6.81	2.4	0.8	36.2		Ajustement du débit
23/10/2000 17:20	41.0				36.2		
24/10/2000 14:42	41.9	2.87	2.2	0.9	37.2	B1-12 : 120	Ajustement du débit
26/10/2000 16:23	44.0	5.35	1.8	1.2	39.0		Ajustement du débit
27/10/2000 15:09	44.9	3.48	2.5	0.8	40.1	B1-13 : 140	Ajustement du débit
27/10/2000 16:29	45.0				40.1		
30/10/2000 14:40	47.9	5.55	1.3	1.6	42.0	B1-14 : 230	Ajustement du débit
30/10/2000 16:12	48.0				42.0		
02/11/2000 17:29	51.0	10.49	2.4	0.9	45.5	B1-15 : 95	
02/11/2000 18:05	51.1				45.5		
06/11/2000 17:25	55.0	10.09	1.8	1.2	48.9	B1-16 : 115	Ajustement du débit
06/11/2000 19:22	55.1				48.9		
09/11/2000 15:05	57.9	7.35	1.8	1.1	51.4	B1-17 : 250	Ajustement du débit
09/11/2000 16:30	58.0				51.4		FIN DE L'ESSAI
TOTAL OU MOYENNE	**58.0**	**152.8**	**1.8**	**1.1**	**51.4**		

Deuxième série d'essais (C_o= 400 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essai (d)	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour vol de pores/d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
29/11/2000 12:55	58.0	0			50.7		
29/11/2000 15:43	58.1	0.43	2.6	0.8	50.9		Ajustement du débit
29/11/2000 18:13	58.2	0.31	2.1	1.0	51.0		
30/11/2000 10:18	58.9	1.69	1.8	1.2	51.5	B1-18 : 120	Ajustement du débit
30/11/2000 11:11	58.9	0			51.5		
30/11/2000 15:20	59.1	0.53	2.1	1.0	51.7	B1-19 : 120	
30/11/2000 16:14	59.1	0			51.7		
01/12/2000 14:11	60.1	2.26	1.7	1.2	52.5	B1-20 : 120	Ajustement du débit
01/12/2000 14:53	60.1	0			52.5		
01/12/2000 18:42	60.2	0.48	2.1	1.0	52.6		Ajustement du débit
02/12/2000 18:50	61.2	2.24	1.5	1.3	53.4	B1-21 : 140	Ajustement du débit
02/12/2000 20:02	61.3				53.4		
03/12/2000 12:55	62.0	1.9	1.9	1.1	54.0	B1-22 : 60	
03/12/2000 13:25	62.0	0			54.0		
04/12/2000 15:02	63.1	2.91	1.9	1.1	55.0		
05/12/2000 13:30	64.0	2.63	2.0	1.1	55.9	B1-23 : 250	Ajustement du débit
05/12/2000 14:30	64.1	0			55.9		
07/12/2000 16:00	66.1	6.28	2.1	1.0	58.0	B1-24 : 130	Ajustement du débit
07/12/2000 17:05	66.2				58.0		
08/12/2000 15:30	67.1	2.77	2.1	1.0	58.9		
10/12/2000 17:05	69.2	5.98	2.0	1.0	60.9		Ajustement du débit
11/12/2000 19:29	70.3	3.18	2.0	1.0	62.0	B1-25 : 80	Ajustement du débit
12/12/2000 17:34	71.2	2.54	1.9	1.1	62.9		Ajustement du débit
12/12/2000 17:34	71.2				62.9		
13/12/2000 15:22	72.1	1.83	1.4	1.5	63.5	B1-26 : 80	Ajustement du débit
13/12/2000 15:56	72.1				63.5		
14/12/2000 16:58	73.2	3.25	2.2	1.0	64.6		Ajustement du débit
15/12/2000 14:42	74.1	3.16	2.4	0.9	65.6	B1-27 : 80	Ajustement du débit
15/12/2000 15:29	74.1				65.6		
16/12/2000 16:25	75.1	2.5	1.7	1.2	66.5		Ajustement du débit
18/12/2000 11:21	76.9	4.19	1.6	1.3	67.9	B1-28: 70	Ajustement du débit
18/12/2000 12:02	77.0				67.9		
19/12/2000 17:03	78.2	3.47	2.0	1.0	69.0		
20/12/2000 11:59	79.0	2.19	1.9	1.1	69.8		
21/12/2000 15:52	80.1	3.01	1.8	1.1	70.8	B1-29: 70	Arrêt
04/01/2001 15:25	80.1				70.8		
05/01/2001 19:30	81.3	2.37	1.4	1.5	71.6		Ajustement du débit
05/01/2001 19:30	81.3				71.6		
06/01/2001 17:04	82.2	1.41	1.1	1.9	72.1		
08/01/2001 15:59	84.1	3.95	1.4	1.5	73.4		Ajustement du débit
09/01/2001 18:30	85.2	2.07	1.3	1.6	74.1		Ajustement du débit
10/01/2001 16:23	86.1	1.14	0.9	2.4	74.5	B1-30: 70	Ajustement du débit
10/01/2001 16:53	86.2				74.5		
11/01/2001 17:10	87.2	2.56	1.8	1.2	75.3		Ajustement du débit
12/01/2001 13:33	88.0	0.83	0.7	3.0	75.6		Ajustement du débit
15/01/2001 16:27	91.1	8.25	1.8	1.1	78.4		
15/01/2001 16:27	91.1				78.4		
16/01/2001 15:26	92.1	2.65	1.9	1.1	79.3	B1-31: 70	Ajustement du débit
16/01/2001 15:46	92.1				79.3		
17/01/2001 14:35	93.1	2.97	2.2	1.0	80.3		
18/01/2001 20:01	94.3	6.28	3.6	0.6	82.4		Ajustement du débit
18/01/2001 20:01	94.3				82.4		
21/01/2001 14:58	97.1	4.7	1.2	1.8	84.0		Ajustement du débit
22/01/2001 16:29	98.1	3.25	2.1	1.0	85.1		
23/01/2001 17:05	99.2	3.1	2.1	1.0	86.1	B1-32: 30	Ajustement du débit
23/01/2001 17:34	99.2				86.1		
24/01/2001 10:34	99.9	2.12	2.1	1.0	86.8		
27/01/2001 15:52	103.1	9.06	2.0	1.1	89.9		Ajustement du débit
27/01/2001 15:52	103.1				89.9		
31/01/2001 16:22	107.1	11.79	2.0	1.0	93.8	B1-33: 30	
31/01/2001 16:49	107.2				93.8		
02/02/2001 17:58	109.2	5.64	1.9	1.1	95.7		Ajustement du débit
04/02/2001 14:57	111.1	4.95	1.8	1.1	97.4	B1-34: 30	Ajustement du débit
05/02/2001 18:47	112.2	3.6	2.2	1.0	98.6		Ajustement du débit
05/02/2001 18:47	112.2				98.6		
06/02/2001 18:41	113.2	2.87	2.0	1.0	99.6		
07/02/2001 17:51	114.2	2.71	1.9	1.1	100.5		
MOYENNE OU TOTAL	**114.2**	**148**	**1.8**	**1.1**	**49.1**		

COLONNE B-2

Échantillon: Serpentine 1/8" + calcaire 2,5-5 mm
Volume des vides: 3385 cm^3
Débit visé: 2,4 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g):
H sortie: 76 cm

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
11/09/2000 20:00	0.0	0	-	-			poids colonne : 33910g
11/09/2000 22:17	0.1	0.17	1.2	1.9	0.1		Ajustement du débit
12/09/2000 13:40	0.7	1.71	1.9	1.3	0.6	B2-1 : 100	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	1.8				0.6		Arrêt
14/09/2000 11:37	1.8				0.6		Mise en marche
14/09/2000 13:06	1.9	4.89	54.9	0.0	2.0		Ajustement du débit
15/09/2000 16:19	3.0	2.99	1.8	1.3	2.9	B2-2 : 125	Ajustement du débit
15/09/2000 16:58	3.0				2.9		
18/09/2000 14:02	5.9	11.68	2.8	0.8	6.3	B2-3 : 125	
18/09/2000 14:54	5.9				6.3		
19/09/2000 17:02	7.0	3.58	2.3	1.0	7.4		
20/09/2000 15:17	8.0	2.92	2.2	1.1	8.3		Ajustement du débit
21/09/2000 15:24	9.0	2.64	1.8	1.3	9.0	B2-4 : 100	Ajustement du débit
21/09/2000 16:16	9.0				9.0		
22/09/2000 10:49	9.8	2.22	2.0	1.2	9.7		Ajustement du débit
26/09/2000 12:02	13.8	11.21	1.9	1.2	13.0	B2-5 : 220	Ajustement du débit
26/09/2000 13:24	13.9				13.0		
28/09/2000 15:14	16.0	7.34	2.5	1.0	15.2		Ajustement du débit
01/10/2000 21:52	19.2	8.3	1.8	1.3	17.6		Ajustement du débit
01/10/2000 21:52	19.2				17.6		
03/10/2000 15:04	20.9	5.73	2.3	1.0	19.3	B2-6 : 110	Ajustement du débit
03/10/2000 15:49	21.0				19.3		
06/10/2000 09:46	23.7	9.2	2.3	1.0	22.0	B2-7 : 130	Ajustement du débit
06/10/2000 10:42	23.8				22.0		
09/10/2000 14:50	26.9	9.87	2.2	1.1	24.9	B2-8 : 130	Ajustement du débit
09/10/2000 15:43	27.0				24.9		
12/10/2000 15:47	30.0	10.7	2.5	0.9	28.1	B2-9 : 130	Ajustement du débit
12/10/2000 16:39	30.0				28.1		
16/10/2000 16:15	34.0	13.2	2.3	1.0	32.0	B2-10 : 140	Ajustement du débit
16/10/2000 17:09	34.0				32.0		
19/10/2000 16:29	37.0	10.68	2.5	0.9	35.2	B2-11 : 220	Ajustement du débit
19/10/2000 17:53	37.1				35.2		
21/10/2000 18:53	39.1	6.92	2.4	1.0	37.2		
23/10/2000 17:27	41.0	6.17	2.2	1.1	39.0		
23/10/2000 17:27	41.0				39.0		
24/10/2000 14:46	41.9	3.02	2.4	1.0	39.9	B2-12 : 100	Ajustement du débit
26/10/2000 16:28	44.0	6.01	2.0	1.2	41.7		
27/10/2000 15:13	45.0	3.11	2.3	1.0	42.6	B2-13 : 180	
27/10/2000 16:29	45.0				42.6		
30/10/2000 14:54	47.9	6.89	1.6	1.4	44.7	B2-14 : 190	Ajustement du débit
30/10/2000 16:12	48.0				44.7		
02/11/2000 18:39	51.1	9.65	2.2	1.1	47.5	B2-15 : 180	
02/11/2000 19:09	51.1				47.5		

COLONNE C-1

Échantillon Scorie d'acier 2,5-10 mm
Volume des vides 3946 cm^3
Débit visé 2,8 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g): 18882
H sortie 76 cm

Première série d'essais (C = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
07/07/2000 13:25	0.0	0	-	-	0.0		
07/07/2000 15:35	0.1	0.359	2.8	1.0	0.1		
07/07/2000 17:07	0.2	0.242	2.6	1.0	0.2		
08/07/2000 16:20	1.1	2.528	1.8	1.5	0.8		
08/07/2000 17:30	1.2	0.102	1.5	1.9	0.8		Ajustement du débit
09/07/2000 17:30	2.2	3.277	2.3	1.2	1.6		Ajustement du débit
10/07/2000 10:15	2.9	2.617	2.6	1.1	2.3		
10/07/2000 12:30	3.0	0.389	2.9	1.0	2.4		
10/07/2000 17:00	3.1	0.719	2.7	1.0	2.6		
11/07/2000 13:30	4.0	2.861	2.3	1.2	3.3	C1-1: 200	
11/07/2000 13:50	4.0				3.3		
11/07/2000 17:50	4.2	0.421	1.8	1.6	3.4		Ajustement du débit
12/07/2000 10:50	4.9	2.681	2.6	1.0	4.1		Ajustement du débit
13/07/2000 11:28	5.9	3.884	2.6	1.0	5.1		
13/07/2000 12:35	6.0	0.199	3.0	0.9	5.1		Ajustement du débit
13/07/2000 18:30	6.2	0.859	2.4	1.1	5.4	C1-2: 200	
14/07/2000 20:38	7.3	3.984	2.5	1.1	6.4		Poids de la colonne: 35 690g
14/07/2000 20:38	7.3				6.4		
14/07/2000 21:51	7.4				6.4		Ajustement du débit
17/07/2000 11:40	9.9	8.95	2.4	1.1	8.6		
17/07/2000 13:36	10.0	0.25	2.2	1.3	8.7	C1-3: 200	Ajustement du débit
17/07/2000 14:39	10.1				8.7		
17/07/2000 17:50	10.2	0.54	2.8	1.0	8.8		
18/07/2000 12:15	11.0	2.87	2.6	1.1	9.6		Ajustement du débit
18/07/2000 18:18	11.2	0.99	2.7	1.0	9.8		
19/07/2000 14:17	12.0	3.17	2.6	1.0	10.6	C1-4 : 200	
19/07/2000 15:15	12.1				10.6		
19/07/2000 18:05	12.2	0.47	2.8	1.0	10.7		
20/07/2000 11:59	12.9	2.66	2.5	1.1	11.4		Ajustement du débit
20/07/2000 17:32	13.2	0.98	2.9	0.9	11.7		Ajustement du débit
21/07/2000 10:48	13.9	2.83	2.7	1.0	12.4	C1-5 : 225	
21/07/2000 11:30	13.9				12.4		
21/07/2000 18:13	14.2	0.94	2.3	1.2	12.6		Ajustement du débit
24/07/2000 13:18	17.0	9.32	2.3	1.2	15.0	C1-6: 200	Ajustement du débit
24/07/2000 14:48	17.1				15.0		
24/07/2000 17:23	17.2	0.43	2.8	1.0	15.1		
25/07/2000 10:29	17.9	2.68	2.6	1.0	15.8		Poids colonne : 35730g
25/07/2000 18:18	18.2	1.32	2.8	1.0	16.1		Ajustement du débit
26/07/2000 13:52	19.0	2.78	2.4	1.2	16.8	C1-7 : 200	Ajustement du débit
27/07/2000 13:20	20.0	3.31	2.4	1.2	17.6		Ajustement du débit
28/07/2000 15:17	21.1	3.83	2.5	1.1	18.6	C1-8 : 200	Ajustement du débit
28/07/2000 16:00	21.1				18.6		
31/07/2000 14:23	24.0	9.66	2.3	1.2	21.1	C1-9 : 200	Ajustement du débit
31/07/2000 15:30	24.1				21.1		
01/08/2000 12:00	24.9	3.21	2.6	1.1	21.9		
01/08/2000 19:02	25.2	1.00	2.4	1.2	22.1		
02/08/2000 12:05	25.9	2.54	2.5	1.1	22.8	C1-10 : 200	
02/08/2000 13:00	26.0				22.8		
02/08/2000 17:37	26.2	0.58	2.1	1.3	22.9		
03/08/2000 16:37	27.1	3.66	2.7	1.0	23.8		Poids colonne : 35 750g
04/08/2000 10:26	27.9	2.44	2.3	1.2	24.5		
04/08/2000 13:10	28.0	0.42	2.6	1.1	24.6	C1-11 : 175	
04/08/2000 14:56	28.1				24.6		
04/08/2000 17:18	28.2	0.38	2.7	1.0	24.7		
07/08/2000 12:15	31.0	8.89	2.2	1.2	26.9	C1-12 : 350	Ajustement du débit
07/08/2000 14:15	31.0				26.9		
07/08/2000 19:20	31.2	0.84	2.8	1.0	27.1		
08/08/2000 16:42	32.1	3.27	2.6	1.1	28.0		
09/08/2000 11:45	32.9	3.11	2.7	1.0	28.7	C1-13 : 225	
09/08/2000 13:02	33.0				28.7		
09/08/2000 16:52	33.1	0.6	2.6	1.1	28.9		Ajustement du débit
10/08/2000 16:30	34.1	3.45	2.4	1.1	29.8		Ajustement du débit
11/08/2000 17:00	35.1				29.8		
14/08/2000 12:20	38.0	18.71	4.6	0.6	34.5	C1-14 : 325	
14/08/2000 13:30	38.0				34.5		
17/08/2000 13:10	41.0				34.5		

Première série d'essais (suite)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
17/08/2000 13:30	41.0	11.33	566.5	0.0	37.4	C1-15 : 275	
17/08/2000 15:00	41.1				37.4		
21/08/2000 14:40	45.1	13.87	2.4	1.1	40.9	C1-16 : 400	
21/08/2000 16:40	45.1				40.9		
24/08/2000 11:35	47.9	8.5	2.1	1.3	43.1	C1-17 : 300	
24/08/2000 13:30	48.0				43.1		
24/08/2000 15:00	48.1				43.1		
28/08/2000 14:25	52.0	13.42	2.3	1.2	46.5	C1-18 : 265	Ajustement du débit
28/08/2000 15:45	52.1				46.5		
29/08/2000 12:00	52.9	3.79	3.1	0.9	47.4		Ajustement du débit
30/08/2000 13:55	54.0	3.92	2.5	1.1	48.4		
31/08/2000 10:45	54.9	3.17	2.5	1.1	49.2	C1-19 : 325	Ajustement du débit
31/08/2000 12:30	55.0				49.2		
01/09/2000 15:25	56.1	3.96	2.5	1.1	50.2		Ajustement du débit
04/09/2000 12:00	58.9	8.85	2.2	1.3	52.5	C1-20 : 225	Ajustement du débit
04/09/2000 13:05	59.0				52.5		
05/09/2000 15:40	60.1	3.82	2.4	1.1	53.4		Poids colonne: 35820g
06/09/2000 13:30	61.0	3.11	2.4	1.2	54.2		Ajustement du débit
07/09/2000 11:15	61.9	3.27	2.5	1.1	55.0	C1-21 : 305	Ajustement du débit
07/09/2000 13:10	62.0				55.0		
08/09/2000 14:45	63.1	4.04	2.6	1.0	56.1		
11/09/2000 21:23	66.3	12.65	2.7	1.0	59.3		Ajustement du débit
11/09/2000 21:24	66.3				59.3		
12/09/2000 12:55	67.0	2.72	2.9	0.9	60.0	C1-22 : 200	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	68.0				60.0		Arrêt
14/09/2000 11:37	68.0				60.0		Mise en marche
14/09/2000 12:08	68.0	8.37	270.0	0.0	62.1		Ajustement du débit
15/09/2000 15:33	69.2	4.25	2.6	1.1	63.2	C1-23 : 240	Ajustement du débit
15/09/2000 16:51	69.2				63.2		
18/09/2000 13:20	72.1	9.93	2.4	1.1	65.7	C1-24 : 150	Ajustement du débit
18/09/2000 14:06	72.1				65.7		
19/09/2000 16:27	73.2	4.3	2.7	1.0	66.8		
20/09/2000 14:41	74.1	3.62	2.7	1.0	67.7		
21/09/2000 14:32	75.1	3.84	2.7	1.0	68.7	C1-25 : 250	
21/09/2000 15:58	75.2				68.7		
22/09/2000 10:14	75.9	2.79	2.5	1.1	69.4		
26/09/2000 10:52	80.0	14.37	2.5	1.1	73.0	C1-26 : 350	
26/09/2000 12:45	80.0				73.0		
28/09/2000 14:33	82.1	7.79	2.6	1.1	75.0		
01/10/2000 21:04	85.4	11.31	2.4	1.1	77.8		Ajustement du débit
01/10/2000 21:04	85.4				77.8		
03/10/2000 13:57	87.1	5.71	2.3	1.2	79.3	C1-27 : 240	Ajustement du débit
03/10/2000 15:14	87.2				79.3		
06/10/2000 08:55	89.9	10.84	2.8	1.0	82.0	C1-28 : 300	Ajustement du débit
06/10/2000 10:31	90.0				82.0		
08/10/2000 16:30	92.2				82.0		Remise en marche
09/10/2000 14:04	93.1	3.09	2.4	1.1	82.8	C1-29 : 280	Ajustement du débit
09/10/2000 15:35	93.2				82.8		
12/10/2000 15:01	96.1	11.47	2.7	1.0	85.7	C1-30 : 260	Ajustement du débit
12/10/2000 16:26	96.2				85.7		
16/10/2000 15:29	100.2	14.85	2.6	1.1	89.5	C1-31 : 320	
16/10/2000 17:08	100.2				89.5		
19/10/2000 15:42	103.2	11.07	2.6	1.0	92.3	C1-32 : 310	
19/10/2000 17:18	103.2				92.3		
21/10/2000 18:10	105.3	7.4	2.5	1.1	94.2		
23/10/2000 16:29	107.2	7.14	2.6	1.1	96.0		
23/10/2000 16:29	107.2				96.0		
24/10/2000 13:58	108.1	3.56	2.8	1.0	96.9	C1-33 : 280	
24/10/2000 15:30	108.2				96.9		
25/10/2000 09:31	108.9	6.5	6.0	0.5	98.5		
25/10/2000 09:31	108.9				98.5		
26/10/2000 15:55	110.2	0.93	0.5	5.4	98.8		Tuyau déconnecté
27/10/2000 14:28	111.1	3.68	2.7	1.0	99.7	C1-34 : 225	
27/10/2000 15:37	111.2				99.7		
30/10/2000 12:00	114.0	9.45	2.3	1.2	102.1	C1-35 : 300	Ajustement du débit
30/10/2000 13:36	114.1				102.1		
02/11/2000 16:08	117.2	12	2.7	1.0	105.1	C1-36 : 270	
02/11/2000 17:25	117.2				105.1		
06/11/2000 15:50	121.2	14.57	2.6	1.1	108.8	C1-37 : 345	
06/11/2000 17:38	121.3				108.8		
09/11/2000 12:29	124.0	10	2.5	1.1	111.4	C1-38 : 350	Ajustement du débit
09/11/2000 13:58	124.1				111.4		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**124.1**	**439.452**	**2.5**	**1.1**	**111.4**		

Deuxième série d'essais (C_p = 400 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon ml	Commentaires
29/11/2000 13:05	124.1				111.4		
29/11/2000 15:54	124.2	0.44	2.6	1.1	111.5		
29/11/2000 18:15	124.3	0.36	0.0	1073.3	111.6		Ajustement du débit
30/11/2000 10:24	125.0	2.21	0.0	1201.5	112.1	C1-39 : 120	Ajustement du débit
30/11/2000 11:11	125.0				112.1		
30/11/2000 15:22	125.2	0.82	0.0	838.8	112.3	C1-40 : 150	Ajustement du débit
30/11/2000 16:14	125.2				112.3		
01/12/2000 14:17	126.1	3.59	0.0	1009.9	113.2	C1-41 : 150	Ajustement du débit
01/12/2000 14:53	126.2				113.2		
01/12/2000 18:46	126.3	0.65	0.0	982.3	113.4		
02/12/2000 18:57	127.3	3.39	0.0	1172.9	114.3	C1-42 : 190	
02/12/2000 20:02	127.4				114.3		
03/12/2000 12:58	128.1	1.41	0.0	1974.6	114.6	C1-43 : 70	Ajustement du débit
03/12/2000 13:25	128.1				114.6		
04/12/2000 15:00	129.2	1.74	0.0	2417.4	115.1		Ajustement du débit
05/12/2000 13:36	130.1	2.41	0.0	1541.8	115.7	C1-44 : 270	Ajustement du débit
05/12/2000 14:36	130.2				115.7		
07/12/2000 16:11	132.2	4.95	0.0	1646.9	116.9	C1-45 : 170	Ajustement du débit
07/12/2000 17:05	132.3				116.9		
08/12/2000 15:33	133.2	2.35	0.0	1571.9	117.5		Ajustement du débit
10/12/2000 17:11	135.3	3.1	0.0	2632.4	118.3		Ajustement du débit
11/12/2000 19:40	136.4	2.35	0.0	1852.9	118.9	C1-46 : 80	Ajustement du débit
12/12/2000 17:43	137.3	2.8	0.0	1294.8	119.6		Ajustement du débit
12/12/2000 17:43	137.3				119.6		
13/12/2000 15:25	138.2	2.43	0.0	1468.2	120.2	C1-47 : 80	Ajustement du débit
13/12/2000 15:55	138.2				120.2		
14/12/2000 17:06	139.3	2.76	0.0	1500.2	120.9		Ajustement du débit
15/12/2000 14:56	140.2	2.71	0.0	1324.6	121.6	C1-48 : 80	Ajustement du débit
15/12/2000 15:29	140.2				121.6		
16/12/2000 16:33	141.2	2.57	0.0	1603.6	122.3		Ajustement du débit
18/12/2000 11:25	143.0	4.97	1.9	1.4	123.5	C1-49: 80	Ajustement du débit
18/12/2000 12:02	143.1				123.5		
19/12/2000 17:07	144.3	3.04	1.7	1.6	124.3		Ajustement du débit
20/12/2000 12:03	145.1	2.84	2.5	1.1	125.0		Ajustement du débit
21/12/2000 15:52	146.2	3.16	1.9	1.4	125.8	C1-50:80	Arrêt
04/01/2001 16:00	146.2				125.8		Mise en marche
05/01/2001 19:30	147.4	1.7	1.0	2.7	126.3		
05/01/2001 19:30	147.4				126.3		
06/01/2001 17:06	148.3	2.46	1.9	1.4	126.9		
08/01/2001 16:09	150.2	4.15	1.5	1.9	127.9		Ajustement du débit
09/01/2001 18:35	151.3	3.37	2.1	1.3	128.8		Ajustement du débit
10/01/2001 16:27	152.2	1.24	0.9	2.9	129.1	C1-51: 60	Ajustement du débit
10/01/2001 16:54	152.3				129.1		
11/01/2001 17:12	153.3	1.94	1.3	2.1	129.6		Ajustement du débit
12/01/2001 13:37	154.1	2.13	1.7	1.6	130.1		Ajustement du débit
15/01/2001 16:29	157.2	4.67	1.0	2.6	131.3		
15/01/2001 16:29	157.2				131.3		
16/01/2001 15:21	158.2	1.48	1.1	2.5	131.7	C1-52: 60	Ajustement du débit
16/01/2001 15:45	158.2				131.7		
17/01/2001 14:37	159.2	1.67	1.2	2.3	132.1		Ajustement du débit
18/01/2001 20:07	160.4	2.18	1.2	2.2	132.7		Ajustement du débit
18/01/2001 20:07	160.4				132.7		
21/01/2001 15:03	163.2	2.76	0.7	4.0	133.4		Ajustement du débit
22/01/2001 16:32	164.2	1.14	0.7	3.7	133.7		Ajustement du débit
23/01/2001 17:14	165.3	0.43	0.3	9.4	133.8	C1-53: 60	Ajustement du débit
23/01/2001 17:34	165.3				133.8		
24/01/2001 10:37	166.0	0.77	0.8	3.6	134.0		Ajustement du débit
27/01/2001 16:00	169.2	0.61	0.1	20.9	134.1		Ajustement du débit
31/01/2001 16:24	173.2	2.79	0.5	5.7	134.8	C1-54: 60	Ajustement du débit
31/01/2001 16:49	173.2				134.8		
02/02/2001 18:07	175.3	1.85	0.6	4.4	135.3		Ajustement du débit
04/02/2001 15:05	177.2	0.21	0.1	35.2	135.3		Ajustement du débit
05/02/2001 18:51	178.3	1.08	0.6	4.2	135.6	C1-55: 30	Ajustement du débit
05/02/2001 19:07	178.3				135.6		
06/02/2001 18:43	179.3	0.3	0.2	12.9	135.7		Ajustement du débit
07/02/2001 17:56	180.3	0.71	0.5	5.4	135.9		Ajustement du débit
MOYENNE OU TOTAL	**180.3**	**96.69**	**1.2**	**2.3**	**24.5**		

COLONNE C-2

Échantillon: Scorie d'acier 2,5-10 mm
Volume des vides: 4045 cm^3
Débit visé: 2,8 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 18671
H sortie: 75,7 cm

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon mL	Commentaires
07/07/2000 13:35	0.0	0	-	-	0.0		
07/07/2000 15:40	0.1	0.34	2.7	1.0	0.1		Ajustement du débit
07/07/2000 17:12	0.2	0.25	2.7	1.0	0.1		
08/07/2000 16:20	1.1	3.91	2.8	1.0	1.1		
08/07/2000 17:30	1.2	0.19	2.8	1.0	1.2		
09/07/2000 17:20	2.2	3.69	2.6	1.1	2.1		Ajustement du débit
10/07/2000 10:17	2.9	2.79	2.7	1.0	2.8		
10/07/2000 12:35	3.0	0.36	2.6	1.1	2.8		Ajustement du débit
10/07/2000 17:05	3.1	0.74	2.7	1.0	3.0		
11/07/2000 13:25	4.0	2.81	2.3	1.2	3.7	C2-1 : 200	
11/07/2000 13:50	4.0				3.7		
11/07/2000 17:55	4.2	0.50	2.0	1.4	3.8		
12/07/2000 10:43	4.9	2.78	2.8	1.0	4.5		Ajustement du débit
13/07/2000 11:26	5.9	4.46	3.0	0.9	5.6		
13/07/2000 12:45	6.0	0.25	3.2	0.9	5.7		Ajustement du débit
13/07/2000 18:34	6.2	0.85	2.4	1.2	5.9	C2-2 : 200	
14/07/2000 20:32	7.3	4.25	2.7	1.0	7.0		Poids de la colonne: 35 700g
14/07/2000 20:32	7.3				7.0		Ajustement du débit
14/07/2000 21:51	7.3				7.0		
17/07/2000 11:44	9.9	10.09	2.7	1.0	9.5		
17/07/2000 13:23	10.0	0.22	2.2	1.3	9.5	C2-3 : 200	Ajustement du débit
17/07/2000 14:39	10.0				9.5		
17/07/2000 17:53	10.2	0.53	2.7	1.0	9.6		
18/07/2000 12:07	10.9	2.76	2.5	1.1	10.3		Ajustement du débit
18/07/2000 18:21	11.2	1.03	2.8	1.0	10.6		Ajustement du débit
19/07/2000 14:14	12.0	3.28	2.7	1.0	11.4	C2-4 : 200	
19/07/2000 15:15	12.1				11.4		
19/07/2000 18:08	12.2	0.49	2.8	1.0	11.5		
20/07/2000 11:55	12.9	2.88	2.7	1.0	12.2		Ajustement du débit
20/07/2000 17:39	13.2	1.08	3.1	0.9	12.5		Ajustement du débit
21/07/2000 10:46	13.9	2.97	2.9	1.0	13.2	C2-5 : 250	
21/07/2000 11:30	13.9				13.2		
21/07/2000 18:19	14.2	0.99	2.4	1.2	13.5		Ajustement du débit
24/07/2000 13:15	17.0	9.91	2.5	1.1	15.9	C2-6 : 200	
24/07/2000 14:48	17.1				15.9		
24/07/2000 17:26	17.2	0.43	2.7	1.0	16.0		
25/07/2000 10:32	17.9	2.70	2.6	1.1	16.7		Poids colonne: 35 720g
25/07/2000 18:13	18.2	1.44	3.1	0.9	17.0		Ajustement du débit
26/07/2000 13:58	19.0	3.74	3.2	0.9	18.0	C2-7 : 200	Ajustement du débit
27/07/2000 13:23	20.0	3.46	2.5	1.1	18.8		Ajustement du débit
28/07/2000 15:15	21.1	4.06	2.6	1.1	19.8	C2-8 : 200	Ajustement du débit
28/07/2000 16:00	21.1				19.8		
31/07/2000 14:28	24.0	10.96	2.6	1.1	22.5	C2-9 : 200	
31/07/2000 15:30	24.1				22.5		
01/08/2000 12:00	24.9	3.34	2.7	1.0	23.4		Ajustement du débit
01/08/2000 18:59	25.2	1.26	3.0	0.9	23.7		Ajustement du débit
02/08/2000 12:07	25.9	2.86	2.8	1.0	24.4	C2-10 : 200	
02/08/2000 13:00	26.0				24.4		
02/08/2000 17:36	26.2	0.62	2.2	1.3	24.5		
03/08/2000 16:49	27.1	3.96	2.8	1.0	25.5		Poids colonne : 35 720g
04/08/2000 10:29	27.9	2.80	2.6	1.1	26.2		
04/08/2000 13:13	28.0	0.59	3.6	0.8	26.4	C2-11 : 200	
04/08/2000 14:56	28.1				26.4		
04/08/2000 17:11	28.2	0.44	3.3	0.9	26.5		Ajustement du débit
07/08/2000 12:23	31.0	9.89	2.5	1.1	28.9	C2-12 : 340	Ajustement du débit
07/08/2000 14:15	31.0				28.9		
07/08/2000 19:19	31.2	0.97	3.2	0.9	29.1		
08/08/2000 16:44	32.1	3.75	2.9	1.0	30.1		Ajustement du débit
09/08/2000 11:43	32.9	3.13	2.7	1.0	30.8	C2-13:225	
09/08/2000 13:00	33.0				30.8		
09/08/2000 16:57	33.1	0.66	2.8	1.0	31.0		Ajustement du débit
10/08/2000 16:35	34.1	3.71	2.6	1.1	31.9		
14/08/2000 12:31	38.0	13.70	2.5	1.1	35.3	C2-14 : 250	
14/08/2000 13:30	38.0				35.3		
16/08/2000 11:37	39.9				35.3		Ajustement du débit

Première série d'essais (suite)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon mL	Commentaires
17/08/2000 13:42	41.0	5.28	3.4	0.8	36.6	C2-15 : 275	
17/08/2000 14:30	41.0				36.6		
21/08/2000 14:46	45.0	13.37	2.3	1.2	39.9	C2-16 : 300	
21/08/2000 16:00	45.1				39.9		
24/08/2000 11:40	47.9	7.74	1.9	1.5	41.8	C2-17:260	
24/08/2000 12:30	48.0				41.8		
28/08/2000 14:20	52.0	11.36	1.9	1.5	44.6	C2-18 : 275	Ajustement du débit
28/08/2000 15:45	52.1				44.6		
29/08/2000 12:05	52.9	3.25	2.7	1.1	45.5		
30/08/2000 13:50	54.0	4.11	2.7	1.1	46.5		
31/08/2000 10:50	54.9	3.50	2.8	1.0	47.3	C2-19 : 325	
31/08/2000 12:25	55.0				47.3		
01/09/2000 15:20	56.1	4.54	2.8	1.0	48.5		
04/09/2000 12:05	58.9	9.70	2.4	1.2	50.9	C2-20 : 200	Ajustement du débit
04/09/2000 13:10	59.0				50.9		
05/09/2000 15:43	60.1	4.00	2.5	1.1	51.8		Poids colonne: 35740g
06/09/2000 13:35	61.0	3.60	2.7	1.0	52.7		
07/09/2000 11:20	61.9	3.65	2.8	1.0	53.6	C2-21 : 325	
07/09/2000 13:10	62.0				53.6		
08/09/2000 14:48	63.1	4.11	2.7	1.1	54.6		
11/09/2000 21:29	66.3	12.18	2.6	1.1	57.7		Ajustement du débit
11/09/2000 21:29	66.3				57.7		
12/09/2000 13:01	67.0	2.66	2.9	1.0	58.3	C2-22 : 150	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	68.0				58.3		Arrêt
14/09/2000 11:37	68.0				58.3		Mise en marche
14/09/2000 12:15	68.0	7.59	199.7	0.0	60.2		Ajustement du débit
15/09/2000 15:41	69.2	4.23	2.6	1.1	61.2	C2-23 : 200	
15/09/2000 16:51	69.2				61.2		
18/09/2000 13:24	72.1	9.68	2.4	1.2	63.6	C2-24 : 175	Ajustement du débit
18/09/2000 14:24	72.1				63.6		
19/09/2000 16:30	73.2	4.05	2.6	1.1	64.6		
20/09/2000 14:44	74.1	3.45	2.6	1.1	65.5		
21/09/2000 14:35	75.1	3.60	2.5	1.1	66.4	C2-25 : 225	Ajustement du débit
21/09/2000 16:00	75.2				66.4		
22/09/2000 10:17	75.9	2.77	2.5	1.1	67.1		Ajustement du débit
26/09/2000 10:55	80.0	13.90	2.4	1.2	70.5	C2-26 : 340	Ajustement du débit
26/09/2000 12:45	80.0				70.5		
28/09/2000 14:35	82.1	8.45	2.8	1.0	72.6		Ajustement du débit
01/10/2000 21:15	85.4	11.06	2.3	1.2	75.3		
01/10/2000 21:15	85.4				75.3		
03/10/2000 14:05	87.1	6.17	2.5	1.1	76.8	C2-27 : 230	Ajustement du débit
03/10/2000 15:16	87.2				76.8		
06/10/2000 08:59	89.9	10.99	2.8	1.0	79.6	C2-28 : 290	Ajustement du débit
06/10/2000 10:31	90.0				79.6		
09/10/2000 14:08	93.1	11.31	2.5	1.1	82.4	C2-29 : 250	Ajustement du débit
09/10/2000 15:35	93.2				82.4		
12/10/2000 15:08	96.1	10.49	2.4	1.1	85.0	C2-30 : 250	
12/10/2000 16:26	96.2				85.0		
16/10/2000 15:31	100.2	14.47	2.5	1.1	88.5	C2-31 : 260	Ajustement du débit
16/10/2000 17:08	100.2				88.5		
19/10/2000 15:45	103.2	12.23	2.9	1.0	91.6	C2-32 : 320	Ajustement du débit
19/10/2000 17:27	103.2				91.6		
21/10/2000 18:12	105.3	7.51	2.6	1.1	93.4		
23/10/2000 16:33	107.2	6.67	2.4	1.2	95.1		Ajustement du débit
23/10/2000 16:33	107.2				95.1		
24/10/2000 14:00	108.1	3.51	2.7	1.0	95.9	C2-33 : 270	
24/10/2000 15:30	108.2	0.00			95.9		
26/10/2000 09:37	109.9	6.50	2.6	1.1	97.5		
26/10/2000 09:37	109.9				97.5		
26/10/2000 15:57	110.2	0.87	2.3	1.2	97.7		Ajustement du débit
27/10/2000 14:31	111.1	3.92	2.9	1.0	98.7	C2-34 : 220	
27/10/2000 15:37	111.2				98.7		
30/10/2000 12:22	114.0	10.44	2.5	1.1	101.3	C2-35 : 270	
30/10/2000 13:53	114.1				101.3		
02/11/2000 16:16	117.2	10.83	2.4	1.2	104.0	C2-36 : 220	
02/11/2000 17:26	117.2				104.0		
06/11/2000 15:59	121.2	13.08	2.3	1.2	107.2	C2-37 : 295	Ajustement du débit
06/11/2000 17:38	121.3				107.2		
09/11/2000 12:44	124.0	8.70	2.2	1.3	109.4	C2-38 : 350	Ajustement du débit
09/11/2000 14:37	124.1				109.4		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**124.1**	**442.4**	**2.5**	**1.1**	**109.4**		

COLONNE D-1

Échantillon: 79% poids Scorie d'acier 2,5-10 mm + 21% poids calcaire 2,5-5 mm
Volume des vides: 3835 cm^3
Débit visé: 2,7 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 17873
H sortie: 75,9 cm

Première série d'essais (C_e = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon mL	Commentaires
07/07/2000 13:55	0.0	0	-	-	0.0		
07/07/2000 15:50	0.1	0.52	4.5	0.6	0.1		Ajustement du débit
07/07/2000 17:15	0.1	0.23	2.7	1.0	0.2		
08/07/2000 16:20	1.1	3.27	2.4	1.1	1.0		
08/07/2000 17:30	1.1	0.19	2.7	1.0	1.1		
09/07/2000 17:15	2.1	3.44	2.4	1.1	2.0		Ajustement du débit
10/07/2000 10:20	2.9	2.49	2.4	1.1	2.6		
10/07/2000 12:40	2.9	0.33	2.3	1.1	2.7		Ajustement du débit
10/07/2000 17:10	3.1	0.59	2.2	1.2	2.9		Ajustement du débit
11/07/2000 13:20	4.0	3.06	2.5	1.1	3.7	D1-1: 130	
11/07/2000 13:50	4.0				3.7		
11/07/2000 18:00	4.2	0.48	1.9	1.4	3.8		
12/07/2000 10:37	4.9	2.50	2.5	1.1	4.5		Ajustement du débit
13/07/2000 11:23	5.9	3.77	2.5	1.1	5.4		
13/07/2000 12:49	6.0	0.24	2.8	0.9	5.5		Ajustement du débit
13/07/2000 18:37	6.2	0.79	2.3	1.2	5.7	D1-2: 150	
14/07/2000 20:22	7.3	4.11	2.7	1.0	6.8		Poids de la colonne: 34 950g
14/07/2000 20:22	7.3				6.8		
14/07/2000 21:51	7.3				6.8		
17/07/2000 11:46	9.9	10.05	2.7	1.0	9.4		
17/07/2000 13:20	10.0	0.20	2.1	1.3	9.5	D1-3: 250	Ajustement du débit
17/07/2000 14:39	10.0				9.5		
17/07/2000 17:56	10.2	0.53	2.7	1.0	9.6		
18/07/2000 11:56	10.9	2.81	2.6	1.0	10.3		Ajustement du débit
18/07/2000 18:30	11.2	1.04	2.6	1.0	10.6		
19/07/2000 14:10	12.0	3.01	2.6	1.0	11.4	D1-4 : 200	
19/07/2000 15:15	12.1				11.4		
19/07/2000 18:10	12.2	0.45	2.6	1.0	11.5		Ajustement du débit
20/07/2000 11:49	12.9	2.86	2.7	1.0	12.2		Ajustement du débit
20/07/2000 17:44	13.2	0.97	2.7	1.0	12.5		
21/07/2000 10:43	13.9	2.28	2.2	1.2	13.1	D1-5 : 225	
21/07/2000 11:15	13.9				13.1		
21/07/2000 18:24	14.2	0.98	2.3	1.2	13.3		Ajustement du débit
24/07/2000 13:10	17.0	9.24	2.3	1.2	15.8	D1-6 : 200	Ajustement du débit
24/07/2000 14:48	17.0				15.8		
24/07/2000 17:28	17.1	0.42	2.6	1.0	15.9		
25/07/2000 10:39	17.9	2.55	2.5	1.1	16.5		Poids colonne: 35 010g
25/07/2000 18:09	18.2	1.26	2.8	1.0	16.9		Ajustement du débit
26/07/2000 14:05	19.0	3.33	2.8	1.0	17.7	D1-7 : 200	Ajustement du débit
27/07/2000 13:27	20.0	3.81	2.7	1.0	18.7		
28/07/2000 15:11	21.1	3.42	2.2	1.2	19.6	D1-8 : 200	Ajustement du débit
28/07/2000 16:00	21.1				19.6		
31/07/2000 14:35	24.0	9.72	2.3	1.2	22.1	D1-9 : 200	Ajustement du débit
31/07/2000 15:37	24.1				22.1		
01/08/2000 12:03	24.9	3.20	2.6	1.0	23.0		
01/08/2000 18:57	25.2	1.02	2.5	1.1	23.2		
02/08/2000 12:10	25.9	2.67	2.6	1.0	23.9	D1-10 : 200	
02/08/2000 13:00	26.0				23.9		
02/08/2000 17:33	26.2	0.59	2.2	1.2	24.1		
03/08/2000 16:58	27.1	3.83	2.7	1.0	25.1		Poids colonne : 35 030g
04/08/2000 10:32	27.9	2.60	2.5	1.1	25.8		
04/08/2000 13:15	28.0	0.81	5.0	0.5	26.0	D1-11 :190	
04/08/2000 14:56	28.0				26.0		
04/08/2000 17:05	28.1	0.39	3.0	0.9	26.1		Ajustement du débit
07/08/2000 12:31	30.9	9.84	2.4	1.1	28.7	D1-12:300	Ajustement du débit
07/08/2000 14:15	31.0				28.7		
07/08/2000 19:17	31.2	0.81	2.7	1.0	28.9		
08/08/2000 16:47	32.1	3.30	2.6	1.0	29.7		
09/08/2000 11:41	32.9	3.02	2.7	1.0	30.5	D1-13: 250	
09/08/2000 12:58	33.0				30.5		
09/08/2000 17:03	33.1	0.64	2.6	1.0	30.7		
10/08/2000 16:37	34.1	3.93	2.8	1.0	31.7		Ajustement du débit
14/08/2000 12:43	38.0	13.07	2.4	1.1	35.1	D1-14 : 300	
14/08/2000 13:30	38.0				35.1		

Première série d'essais (suite)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon mL	Commentaires
17/08/2000 13:54	41.0	9.97	2.3	1.2	37.7	D1-15 : 225	
17/08/2000 15:00	41.0				37.7		
21/08/2000 14:50	45.0	11.68	2.0	1.3	40.8	D1-16 : 275	
21/08/2000 16:00	45.1				40.8		
23/08/2000 11:50	46.9	7.08	2.7	1.0	42.6	D1-17 : 250	Ajustement du débit
28/08/2000 14:15	52.0	11.63	1.6	1.7	45.6	D1-18 : 315	Ajustement du débit
28/08/2000 15:45	52.1				45.6		
29/08/2000 12:10	52.9	3.70	3.0	0.9	46.6		Ajustement du débit
30/08/2000 13:45	54.0	4.07	2.7	1.0	47.7		
31/08/2000 10:55	54.9	3.44	2.7	1.0	48.6	D1-19 : 325	
31/08/2000 12:25	54.9				48.6		
01/09/2000 15:15	56.1	4.88	3.0	0.9	49.8		Ajustement du débit
04/09/2000 12:10	58.9	9.50	2.3	1.2	52.3	D1-20 : 200	Ajustement du débit
04/09/2000 13:15	59.0				52.3		
05/09/2000 15:53	60.1	4.03	2.5	1.1	53.4		Poids colonne: 35040g
06/09/2000 13:40	61.0	3.37	2.6	1.0	54.2		
07/09/2000 11:22	61.9	3.73	2.9	0.9	55.2	D1-21 : 325	
07/09/2000 13:10	62.0				55.2		
08/09/2000 14:50	63.0	4.31	2.8	1.0	56.3		
11/09/2000 21:34	66.3	12.84	2.7	1.0	59.7		Ajustement du débit
11/09/2000 21:34	66.3				59.7		
12/09/2000 13:09	67.0	1.75	1.9	1.4	60.1	D1-22 : 175	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	68.0				60.1		Arrêt
14/09/2000 11:37	68.0				60.1		Mise en marche
14/09/2000 12:18	68.0	7.44	181.3	0.0	62.1		
15/09/2000 15:44	69.2	4.13	2.5	1.1	63.2	D1-23 : 200	
15/09/2000 16:52	69.2				63.2		
18/09/2000 13:30	72.1	9.26	2.2	1.2	65.6	D1-24 : 175	Ajustement du débit
18/09/2000 14:27	72.1				65.6		
19/09/2000 16:32	73.2	4.32	2.8	1.0	66.7		
20/09/2000 14:46	74.1	3.68	2.8	1.0	67.7		
21/09/2000 14:45	75.1	3.47	2.4	1.1	68.6	D1-25 : 200	
21/09/2000 15:58	75.2				68.6		
22/09/2000 10:20	75.9	2.83	2.6	1.0	69.3		
26/09/2000 11:00	80.0	12.99	2.2	1.2	72.7	D1-26 : 320	Ajustement du débit
26/09/2000 12:48	80.0				72.7		
28/09/2000 14:44	82.1	7.68	2.6	1.0	74.7		
01/10/2000 21:18	85.4	11.17	2.4	1.1	77.6		Ajustement du débit
01/10/2000 21:18	85.4				77.6		
03/10/2000 14:09	87.1	6.73	2.7	1.0	79.4	D1-27 : 210	
03/10/2000 15:17	87.2				79.4		
06/10/2000 09:03	89.9	9.83	2.5	1.1	81.9	D1-28 : 270	
06/10/2000 10:31	90.0				81.9		
09/10/2000 14:14	93.1	11.78	2.6	1.0	85.0	D1-29 : 250	
09/10/2000 15:35	93.2				85.0		
12/10/2000 15:10	96.1	10.95	2.5	1.0	87.9	D1-30 : 230	Ajustement du débit
10/10/2000 16:26	94.2				87.9		
16/10/2000 15:42	100.2	14.32	1.7	1.6	91.6	D1-31 : 240	
16/10/2000 17:08	100.2				91.6		
19/10/2000 15:52	103.2	10.61	2.5	1.1	94.4	D1-32 : 280	
19/10/2000 17:27	103.2				94.4		
21/10/2000 18:14	105.3	7.32	2.5	1.1	96.3		
23/10/2000 16:37	107.2	6.39	2.3	1.2	97.9		
23/10/2000 16:37	107.2				97.9		
24/10/2000 14:14	108.1	3.57	2.8	1.0	98.9	D1-33 : 250	
24/10/2000 15:30	108.2				98.9		
26/10/2000 09:39	109.9	6.55	2.6	1.0	100.6		
26/10/2000 09:39	109.9				100.6		
26/10/2000 16:00	110.2	0.97	2.5	1.0	100.8		
27/10/2000 14:32	111.1	3.80	2.8	0.9	101.8	D1-34 : 180	Ajustement du débit
27/10/2000 15:37	111.2				101.8		
30/10/2000 12:42	114.0	9.52	2.3	1.2	104.3	D1-35 : 260	
30/10/2000 14:10	114.1				104.3		
02/11/2000 16:24	117.2	10.59	2.4	1.1	107.1	D1-36 : 195	
02/11/2000 17:26	117.2				107.1		
06/11/2000 16:14	121.2	13.33	2.3	1.1	110.5	D1-37 : 210	Ajustement du débit
06/11/2000 17:38	121.3				110.5		
09/11/2000 13:12	124.1	10.68	2.6	1.0	113.3	D1-38 : 365	Ajustement du débit
09/11/2000 15:13	124.2				113.3		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**124.2**	**434.5**	**2.4**	**1.1**	**113.3**		

Deuxième série d'essais (400 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon mL	Commentaires
29/11/2000 13:22	124.2	0			113.3		
29/11/2000 15:57	124.3	0.41	2.6	1.0	113.4		
29/11/2000 18:21	124.4	0.39	2.7	1.0	113.5		
30/11/2000 10:27	125.0	2.4	2.5	1.1	114.2	D1-39 : 100	Ajustement du débit
30/11/2000 11:11	125.1				114.2		
30/11/2000 15:28	125.2	0.64	2.5	1.1	114.3	D1-40 : 120	Ajustement du débit
30/11/2000 16:14	125.3				114.3		
01/12/2000 14:24	126.2	1.25	0.9	2.8	114.6	D1-41 : 120	Ajustement du débit
01/12/2000 14:53	126.2				114.6		
01/12/2000 18:48	126.4	0.62	2.6	1.0	114.8		
02/12/2000 19:00	127.4	0.49	0.3	7.9	114.9	D1-42 : 180	Ajustement du débit
02/12/2000 20:02	127.4				114.9		
03/12/2000 13:03	128.1	1.04	1.0	2.6	115.2	D1-43 : 40	Ajustement du débit
03/12/2000 13:25	128.2				115.2		
05/12/2000 13:42	130.2	3.54	1.2	2.2	116.1	D1-44 : 260	Ajustement du débit
05/12/2000 14:45	130.2				116.1		
07/12/2000 16:16	132.3	4.99	1.7	1.6	117.4	D1-45 : 150	Ajustement du débit
07/12/2000 17:05	132.3				117.4		
08/12/2000 15:37	133.2	2.48	1.8	1.5	118.1		Ajustement du débit
10/12/2000 17:18	135.3	1.67	0.6	4.8	118.5		Ajustement du débit
11/12/2000 19:43	136.4	2.3	1.5	1.8	119.1	D1-46 : 80	Ajustement du débit
12/12/2000 17:49	137.3	3.05	2.3	1.2	119.9		Ajustement du débit
12/12/2000 17:49	137.3				119.9		
13/12/2000 15:30	138.2	2.33	1.8	1.5	120.5	D1-47 : 90	Ajustement du débit
13/12/2000 16:01	138.3				120.5		
14/12/2000 17:10	139.3	3.69	2.4	1.1	121.5		Ajustement du débit
15/12/2000 14:59	140.2	2.61	2.0	1.3	122.2	D1-48 : 80	Ajustement du débit
15/12/2000 15:40	140.2				122.2		
16/12/2000 16:37	141.3	3.33	2.2	1.2	123.0		Ajustement du débit
18/12/2000 11:33	143.1	3.02	1.2	2.3	123.8	D1-49: 80	Ajustement du débit
18/12/2000 12:08	143.1				123.8		
19/12/2000 17:12	144.3	2.75	1.6	1.7	124.5		Ajustement du débit
20/12/2000 12:06	145.1	2.46	2.2	1.2	125.2	D1-50: 80	Ajustement du débit
21/12/2000 15:52	146.3	1.46	0.9	3.0	125.6		Arrêt
04/01/2001 16:08	146.3				125.6		Mise en marche
05/01/2001 19:30	147.4	3.31	2.0	1.3	126.4		
05/01/2001 19:30	147.4				126.4		
06/01/2001 17:10	148.3	1.41	1.1	2.5	126.8		
08/01/2001 16:20	150.3	0.83	0.3	9.1	127.0		Ajustement du débit
09/01/2001 18:38	151.4	2.31	1.5	1.8	127.6		Ajustement du débit
10/01/2001 16:27	152.3	2.48	1.9	1.4	128.2	D1-51: 30	Ajustement du débit
10/01/2001 16:54	152.3				128.2		
11/01/2001 17:19	153.3	2.05	1.4	1.9	128.8		Ajustement du débit
12/01/2001 13:44	154.2	0.96	0.8	3.4	129.0		Ajustement du débit
15/01/2001 16:43	157.3	2.52	0.6	4.8	129.7		
15/01/2001 16:43	157.3				129.7		
16/01/2001 16:30	158.3	1.32	0.9	2.9	130.0	D1-52: 20	Ajustement du débit
16/01/2001 16:40	158.3				130.0		
17/01/2001 14:41	159.2	0.46	0.3	7.6	130.2		Ajustement du débit
18/01/2001 20:13	160.4	1.75	1.0	2.7	130.6		Ajustement du débit
18/01/2001 20:13	160.4				130.6		
21/01/2001 15:05	163.2	1.88	0.5	5.7	131.1		Ajustement du débit
22/01/2001 16:34	164.3	0.23	0.2	17.7	131.2		Ajustement du débit
23/01/2001 17:18	165.3	0.5	0.3	7.9	131.3	D1-53: 30	Ajustement du débit
23/01/2001 17:34	165.3				131.3		
24/01/2001 10:39	166.0	0.84	0.8	3.2	131.5		Ajustement du débit
27/01/2001 16:06	169.3	1.35	0.3	9.2	131.9		Ajustement du débit
31/01/2001 16:28	173.3	1.11	0.2	13.9	132.2	D1-54: 30	Ajustement du débit
31/01/2001 16:49	173.3				132.2		
02/02/2001 18:13	175.3	1.81	0.6	4.4	132.6		
04/02/2001 15:15	177.2	0.56	0.2	12.8	132.8		Ajustement du débit
05/02/2001 18:53	178.4	1.17	0.7	3.8	133.1	D1-55: 30	Ajustement du débit
05/02/2001 19:07	178.4				133.1		
06/02/2001 18:47	179.4	0.62	0.4	6.1	133.2		Ajustement du débit
07/02/2001 18:01	180.3	1.16	0.8	3.2	133.5		Ajustement du débit
MOYENNE OU TOTAL	**56.2**	**77.55**	**1.0**	**2.8**	**20.2**		

COLONNE D-2

Échantillon: 79% poids Scorie d'acier 2,5-10 mm + 21% poids calcaire 2,5-5 mm
Volume des vides: 3787 cm^3
Débit visé: 2,6 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 18361
H sortie: 75,3 cm

Première série d'essais (C_p = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour heures	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
07/07/2000 14:10	0.0	0	-	-	0.0		
07/07/2000 15:58	0.1	0.24	2.2	1.2	0.1		Ajustement du débit
07/07/2000 17:20	0.1	0.21	2.6	1.0	0.1		
08/07/2000 16:20	1.1	3.53	2.6	1.0	1.0		
08/07/2000 17:30	1.1	0.20	2.8	0.9	1.1		
09/07/2000 17:10	2.1	3.61	2.5	1.0	2.1		Ajustement du débit
10/07/2000 10:23	2.8	2.78	2.7	1.0	2.8		
10/07/2000 12:45	2.9	0.42	3.0	0.9	2.9		
10/07/2000 17:15	3.1	0.79	2.9	0.9	3.1		Ajustement du débit
11/07/2000 13:15	4.0	3.13	2.6	1.0	3.9	D2-1: 200	
11/07/2000 13:50	4.0				3.9		
11/07/2000 18:05	4.2	0.52	2.0	1.3	4.1		
12/07/2000 10:33	4.8	2.71	2.7	1.0	4.8		Ajustement du débit
13/07/2000 11:21	5.9	3.82	2.6	1.0	5.8		
13/07/2000 12:58	5.9	0.26	2.7	1.0	5.9		Ajustement du débit
13/07/2000 18:40	6.2	0.82	2.4	1.1	6.1	D2-2: 200	
14/07/2000 20:12	7.3	4.21	2.7	1.0	7.2		Poids de la colonne: 35 260g
14/07/2000 20:12	7.3				7.2		
14/07/2000 21:51	7.3				7.2		
17/07/2000 11:48	9.9	10.66	2.9	0.9	10.0		
17/07/2000 13:18	10.0	0.21	2.3	1.1	10.1	D2-3: 200	Ajustement du débit
17/07/2000 14:37	10.0				10.1		
17/07/2000 17:58	10.2	0.52	2.6	1.0	10.2		Ajustement du débit
18/07/2000 11:44	10.9	2.66	2.5	1.1	10.9		Ajustement du débit
18/07/2000 18:32	11.2	1.12	2.7	1.0	11.2		
19/07/2000 14:08	12.0	3.19	2.7	1.0	12.0	D2-4 : 200	
19/07/2000 15:15	12.0				12.0		
19/07/2000 18:13	12.2	0.49	2.8	1.0	12.2		
20/07/2000 11:45	12.9	2.69	2.6	1.0	12.9		Ajustement du débit
20/07/2000 17:49	13.2	0.98	2.7	1.0	13.1		
21/07/2000 10:40	13.9	2.79	2.8	1.0	13.9	D2-5 : 250	
21/07/2000 11:15	13.9				13.9		
21/07/2000 18:33	14.2	1.10	2.5	1.0	14.2		
24/07/2000 13:06	17.0	9.20	2.3	1.1	16.6	D2-6 : 200	Ajustement du débit
24/07/2000 14:48	17.0				16.6		
24/07/2000 17:30	17.1	0.42	2.6	1.0	16.7		
25/07/2000 10:44	17.9	2.60	2.5	1.0	17.4		Poids colonne: 35 310g
25/07/2000 18:06	18.2	1.21	2.7	1.0	17.7		Ajustement du débit
26/07/2000 14:10	19.0	2.63	2.2	1.2	18.4	D2-7: 200	
27/07/2000 13:29	20.0	3.30	2.4	1.1	19.3		Ajustement du débit
28/07/2000 15:04	21.0	3.56	2.3	1.1	20.2	D2-8 : 200	Ajustement du débit
28/07/2000 16:00	21.1				20.2		
31/07/2000 14:40	24.0	9.61	2.3	1.2	22.8	D2-9: 200	
31/07/2000 15:50	24.1				22.8		
01/08/2000 12:04	24.9	2.94	2.4	1.1	23.5		Ajustement du débit
01/08/2000 18:52	25.2	1.14	2.8	0.9	23.8		Ajustement du débit
02/08/2000 12:12	25.9	2.56	2.5	1.1	24.5	D2-10 : 200	
02/08/2000 13:00	26.0				24.5		
02/08/2000 17:32	26.1	0.48	1.8	1.5	24.6		
03/08/2000 16:59	27.1	3.36	2.4	1.1	25.5		Poids colonne: 35 330g
04/08/2000 10:36	27.9	2.31	2.2	1.2	26.1		
04/08/2000 13:19	28.0	0.56	3.4	0.8	26.3	D2-11 : 150	
04/08/2000 14:56	28.0				26.3		
04/08/2000 17:03	28.1	0.32	2.5	1.0	26.4		
07/08/2000 12:38	30.9	8.78	2.2	1.2	28.7	D2-12 : 275	Ajustement du débit
07/08/2000 14:15	31.0				28.7		
07/08/2000 19:12	31.2	0.85	2.9	0.9	28.9		Ajustement du débit
08/08/2000 16:49	32.1	3.56	2.7	1.0	29.9		Ajustement du débit
09/08/2000 11:34	32.9	3.10	2.8	1.0	30.7	D2-13 : 225	Ajustement du débit
09/08/2000 12:58	32.9				30.7		
09/08/2000 17:04	33.1	0.70	2.8	0.9	30.9		Ajustement du débit
10/08/2000 16:41	34.1	3.32	2.3	1.1	31.7		
14/08/2000 12:56	37.9	12.39	2.2	1.2	35.0	D2-14 : 300	
14/08/2000 14:00	38.0				35.0		

Première série d'essais (suite)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour heures	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
17/08/2000 13:56	41.0	8.89	2.1	1.3	37.4	D2-15 : 200	
17/08/2000 15:00	41.0				37.4		
21/08/2000 14:55	45.0	11.09	1.9	1.4	40.3	D2-16 : 300	Ajustement du débit
21/08/2000 16:00	45.1				40.3		
24/08/2000 11:55	47.9	8.68	2.1	1.2	42.6	D2-17 : 275	
28/08/2000 14:10	52.0	5.04	0.9	3.1	43.9	D2-18 :315	Ajustement du débit
28/08/2000 15:45	52.1				43.9		
29/08/2000 12:15	52.9	3.33	2.7	1.0	44.8		
30/08/2000 13:40	54.0	4.03	2.6	1.0	45.8		
31/08/2000 11:00	54.9	3.54	2.8	1.0	46.8	D2-19 : 325	Ajustement du débit
31/08/2000 12:45	54.9				46.8		
01/09/2000 15:10	56.0	4.09	2.6	1.0	47.9		
04/09/2000 12:15	58.9	8.82	2.1	1.2	50.2	D2-20 : 175	Ajustement du débit
04/09/2000 13:25	59.0				50.2		
05/09/2000 16:03	60.1	4.92	3.1	0.9	51.5		Poids colonne: 35350g
06/09/2000 13:42	61.0	3.49	2.7	1.0	52.4		
07/09/2000 11:25	61.9	3.73	2.9	0.9	53.4	D2-21 : 310	
07/09/2000 13:10	62.0				53.4		
08/09/2000 14:53	63.0	4.27	2.8	1.0	54.5		Ajustement du débit
11/09/2000 21:42	66.3	11.91	2.5	1.0	57.7		
11/09/2000 21:42	66.3				57.7		
12/09/2000 13:12	67.0	2.35	2.5	1.0	58.3	D2-22 : 150	
13/09/2000 14:00	68.0				58.3		Arrêt
14/09/2000 11:37	68.0				58.3		Mise en marche
14/09/2000 12:21	68.0	7.52	170.9	0.0	60.3		Ajustement du débit
15/09/2000 15:46	69.2	3.72	2.3	1.2	61.3	D2-23 : 175	Ajustement du débit
15/09/2000 16:52	69.2				61.3		
18/09/2000 13:33	72.1	10.65	2.6	1.0	64.1	D2-24 : 150	Ajustement du débit
18/09/2000 14:27	72.1				64.1		
19/09/2000 16:41	73.2	3.95	2.5	1.0	65.1		
20/09/2000 14:48	74.1	3.33	2.5	1.0	66.0		
21/09/2000 14:47	75.1	3.51	2.4	1.1	66.9	D2-25 : 175	
21/09/2000 15:57	75.2				66.9		
22/09/2000 10:23	75.9	2.58	2.3	1.1	67.6		Ajustement du débit
26/09/2000 11:05	80.0	17.98	3.1	0.8	72.4	D2-26 : 250	Ajustement du débit
26/09/2000 12:48	80.0				72.4		
28/09/2000 14:46	82.1	7.87	2.6	1.0	74.4		
01/10/2000 21:25	85.4	11.54	2.4	1.1	77.5		Ajustement du débit
01/10/2000 21:25	85.4				77.5		
03/10/2000 14:11	87.1	5.61	2.3	1.1	79.0	D2-27 : 150	Ajustement du débit
03/10/2000 15:18	87.2				79.0		
06/10/2000 09:06	89.9	9.47	2.4	1.1	81.5	D2-28 : 250	
06/10/2000 10:31	90.0				81.5		
09/10/2000 14:16	93.1	10.64	2.3	1.1	84.3	D2-29 : 220	Ajustement du débit
09/10/2000 15:35	93.2				84.3		
12/10/2000 15:15	96.2	10.35	2.4	1.1	87.0	D2-30 : 210	
12/10/2000 16:26	96.2				87.0		
16/10/2000 15:44	100.2	14.63	2.6	1.0	90.9	D2-31 : 230	
16/10/2000 17:08	100.2				90.9		
19/10/2000 15:55	103.2	10.28	2.4	1.1	93.6	D2-32 : 300	
19/10/2000 17:44	103.3				93.6		
21/10/2000 18:16	105.3	6.51	2.2	1.2	95.3		Ajustement du débit
23/10/2000 16:41	107.2	6.34	2.3	1.2	97.0		Ajustement du débit
23/10/2000 16:41	107.2				97.0		
24/10/2000 14:17	108.1	2.94	2.3	1.2	97.8	D2-33 : 200	Ajustement du débit
24/10/2000 15:30	108.2				97.8		
26/10/2000 16:03	110.2	6.73	2.3	1.1	99.5		
27/10/2000 14:39	111.1	3.29	2.4	1.1	100.4	D2-34 : 160	
27/10/2000 15:37	111.2				100.4		
30/10/2000 13:00	114.1	8.55	2.1	1.3	102.7	D2-35 : 290	Ajustement du débit
30/10/2000 14:44	114.1				102.7		
02/11/2000 16:32	117.2	10.35	2.3	1.1	105.4	D2-36 : 170	Ajustement du débit
02/11/2000 17:32	117.2				105.4		
06/11/2000 16:23	121.2	12.50	2.2	1.2	108.7	D2-37 : 210	
06/11/2000 17:38	121.3				108.7		
09/11/2000 13:32	124.1	9.08	2.2	1.2	111.1	D2-38 : 350	Ajustement du débit
09/11/2000 15:43	124.2				111.1		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**124.2**	**420.6**	**2.4**	**1.1**	**111.1**		

COLONNE F-1

Échantillon: Gravier 5 mm lavé
Volume des vides: 3818 cm^3
Débit visé: 2,7 cm^3/min
Temps de séjour visé: 1 jour
Masse de matériau (g) 14368
H sortie: 75,3 cm

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
07/07/2000 14:25	0.0	0	-	-	0.0		
07/07/2000 16:10	0.1	0.29	2.8	1.0	0.1		
07/07/2000 17:22	0.1	0.20	2.8	0.9	0.1		
08/07/2000 16:15	1.1	4.00	2.9	0.9	1.2		
08/07/2000 17:30	1.1	0.24	3.3	0.8	1.2		
09/07/2000 17:05	2.1	3.49	2.5	1.1	2.2		Ajustement du débit
10/07/2000 10:25	2.8	2.22	2.1	1.2	2.7		
10/07/2000 12:50	2.9	0.23	1.6	1.7	2.8		Ajustement du débit
10/07/2000 17:20	3.1	0.81	3.0	0.9	3.0		
11/07/2000 13:10	3.9	2.04	1.7	1.5	3.5	F1-1 : 130	Ajustement du débit
11/07/2000 13:50	4.0				3.5		
11/07/2000 18:10	4.2	0.55	2.1	1.3	3.7		Ajustement du débit
12/07/2000 10:30	4.8	1.40	1.4	1.9	4.1		Ajustement du débit
13/07/2000 11:19	5.9	2.10	1.4	1.9	4.6		
13/07/2000 13:10	5.9	0.01	0.1	26.8	4.6	F1-2 : 150	Ajustement du débit
13/07/2000 15:30	6.0				4.6		
13/07/2000 18:45	6.2	0.75	3.8	0.7	4.8		Ajustement du débit
14/07/2000 19:54	7.2	1.81	1.2	2.2	5.3		Poids colonne : 31 230g
14/07/2000 19:54	7.2				5.3		
17/07/2000 11:50	9.9	8.53	2.2	1.2	7.5		
17/07/2000 13:11	9.9	0.34	4.2	0.6	7.6	F1-3 : 250	Ajustement du débit
17/07/2000 14:36	10.0				7.6		
17/07/2000 18:08	10.2	0.55	2.6	1.0	7.7		Ajustement du débit
18/07/2000 11:36	10.9	2.50	2.4	1.1	8.4		Ajustement du débit
18/07/2000 18:34	11.2	1.12	2.7	1.0	8.7		Ajustement du débit
19/07/2000 14:03	12.0	2.46	2.1	1.3	9.3	F1-4 : 200	Ajustement du débit
19/07/2000 15:15	12.0				9.3		
19/07/2000 18:15	12.2	0.71	3.9	0.7	9.5		Ajustement du débit
20/07/2000 11:41	12.9	2.70	2.6	1.0	10.2		Ajustement du débit
20/07/2000 17:52	13.1	0.92	2.5	1.1	10.5		Ajustement du débit
21/07/2000 10:35	13.8	4.46	4.4	0.6	11.6	F1-5 : 200	Ajustement du débit
21/07/2000 11:45	13.9				11.6		
21/07/2000 18:37	14.2	0.68	1.7	1.6	11.8		Ajustement du débit
24/07/2000 13:03	16.9	4.75	1.2	2.2	13.1	F1-6 : 200	Ajustement du débit
24/07/2000 14:48	17.0				13.1		
24/07/2000 17:32	17.1	0.47	2.9	0.9	13.2		
25/07/2000 10:50	17.9	2.22	2.1	1.2	13.8		Poids colonne : 31 320g
25/07/2000 18:04	18.2	0.82	1.9	1.4	14.0		Ajustement du débit
26/07/2000 14:12	19.0	1.97	1.6	1.6	14.5	F1-7 : 200	Ajustement du débit
27/07/2000 13:39	20.0	3.00	2.1	1.2	15.3		Ajustement du débit
28/07/2000 15:00	21.0	3.51	2.3	1.1	16.2	F1-8 : 200	Ajustement du débit
28/07/2000 16:00	21.1				16.2		
31/07/2000 14:44	24.0	4.45	1.0	2.5	17.4	F1-9 : 200	Ajustement du débit
31/07/2000 16:00	24.1				17.4		
01/08/2000 12:09	24.9	1.63	1.3	2.0	17.8		Ajustement du débit
01/08/2000 18:50	25.2	1.02	2.5	1.0	18.1		
02/08/2000 12:19	25.9	2.96	2.8	0.9	18.8	F1-10 : 200	Ajustement du débit
02/08/2000 13:15	26.0				18.8		
02/08/2000 17:31	26.1	0.58	2.3	1.2	19.0		
03/08/2000 17:09	27.1	2.63	1.9	1.4	19.7		Poids colonne : 31 380g
04/08/2000 10:39	27.8	1.31	1.2	2.1	20.0		Ajustement du débit
04/08/2000 13:23	28.0	0.58	3.5	0.7	20.2	F1-11 : 175	Ajustement du débit
04/08/2000 14:56	28.0				20.2		
04/08/2000 16:57	28.1	0.33	2.7	1.0	20.3		Ajustement du débit
07/08/2000 12:45	30.9	6.09	1.5	1.8	21.9	F1-12 : 280	Ajustement du débit
07/08/2000 14:15	31.0				21.9		
07/08/2000 19:08	31.2	0.78	2.7	1.0	22.1		Ajustement du débit
08/08/2000 17:06	32.1	1.90	1.4	1.8	22.6		Ajustement du débit
09/08/2000 11:27	32.9	1.22	1.1	2.4	22.9	F1-13 : 225	Ajustement du débit
09/08/2000 12:58	32.9				22.9		
09/08/2000 17:09	33.1	0.60	2.4	1.1	23.0		Ajustement du débit
10/08/2000 16:43	34.1	3.74	2.6	1.0	24.0		
14/08/2000 13:08	37.9	4.74	0.9	3.1	25.3	F1-14 : 195	Ajustement du débit
14/08/2000 14:05	38.0				25.3		

Première série d'essais (suite)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
17/08/2000 14:03	41.0	1.52	0.4	7.5	25.7	F1-15 : 200	Ajustement du débit
17/08/2000 15:00	41.0				25.7		
21/08/2000 15:05	45.0	1.77	0.3	8.6	26.1	F1-16 : 275	Ajustement du débit
21/08/2000 16:15	45.1				26.1		
24/08/2000 12:00	47.9	1.38	0.3	7.8	26.5	F1-17 : 245	Ajustement du débit
28/08/2000 14:05	52.0	2.27	0.4	6.9	27.1	F1-18 : 315	Ajustement du débit
28/08/2000 15:45	52.1				27.1		
29/08/2000 12:20	52.9	16.23	13.1	0.2	31.3		Ajustement du débit
29/08/2000 12:20	52.9				31.3		
30/08/2000 13:35	54.0	2.98	2.0	1.3	32.1		Ajustement du débit
31/08/2000 11:05	54.9	1.57	1.2	2.2	32.5	F1-19 : 325	Ajustement du débit
31/08/2000 12:45	54.9				32.5		
01/09/2000 15:05	56.0	2.98	1.9	1.4	33.3		Ajustement du débit
04/09/2000 12:20	58.9	18.20	4.4	0.6	38.1	F1-20 : 175	Ajustement du débit
04/09/2000 13:20	59.0				38.1		
05/09/2000 16:13	60.1	3.57	2.2	1.2	39.0		Poids colonne : 31 480g
06/09/2000 13:45	61.0	1.83	1.4	1.9	39.5		Ajustement du débit
07/09/2000 11:28	61.9	1.86	1.4	1.9	40.0	F1-21 : 290	Ajustement du débit
07/09/2000 13:10	61.9				40.0		
08/09/2000 15:00	63.0	2.26	1.5	1.8	40.6		Ajustement du débit
11/09/2000 21:45	66.3	4.94	1.0	2.5	41.8		Ajustement du débit
11/09/2000 21:45	66.3				41.8		
12/09/2000 13:15	67.0	1.62	1.7	1.5	42.3	F1-22 : 150	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	68.0				42.3		Arrêt du système
14/09/2000 11:37	68.0				42.3		Mise en marche du système
14/09/2000 12:25	68.0	5.57	116.0	0.0	43.7		Ajustement du débit
15/09/2000 15:53	69.2	2.54	1.5	1.7	44.4	F1-23 : 175	Ajustement du débit
15/09/2000 16:53	69.2				44.4		
18/09/2000 13:37	72.1	4.38	1.1	2.5	45.5	F1-24 : 150	Ajustement du débit
18/09/2000 14:35	72.1				45.5		
19/09/2000 16:44	73.2	2.02	1.3	2.1	46.1		Ajustement du débit
20/09/2000 14:51	74.1	1.61	1.2	2.2	46.5		Ajustement du débit
21/09/2000 14:49	75.1	1.55	1.1	2.5	46.9	F1-25 : 175	Ajustement du débit
21/09/2000 16:00	75.2				46.9		
22/09/2000 10:27	76.0	2.26	2.0	1.3	47.5		Ajustement du débit
26/09/2000 11:24	80.0	6.57	1.1	2.3	49.2	F1-26 : 240	Ajustement du débit
26/09/2000 12:49	80.1				49.2		
28/09/2000 14:52	82.1	4.72	1.6	1.7	50.4		Ajustement du débit
01/10/2000 21:30	85.4	6.24	1.3	2.0	52.1		Ajustement du débit
01/10/2000 21:30	85.4				52.1		
03/10/2000 14:24	87.1	4.24	1.7	1.5	53.2	F1-27 :180	Ajustement du débit
03/10/2000 15:32	87.2				53.2		
06/10/2000 09:08	89.9	6.25	1.6	1.7	54.8	F1-28 : 200	Ajustement du débit
06/10/2000 10:36	90.0				54.8		
09/10/2000 14:22	93.1	5.64	1.2	2.1	56.3	F1-29 : 180	Ajustement du débit
09/10/2000 15:35	93.2				56.3		
12/10/2000 15:17	96.2	7.92	1.8	1.4	58.4	F1-30 : 190	Ajustement du débit
12/10/2000 16:29	96.2				58.4		
16/10/2000 15:47	100.2	6.66	1.2	2.3	60.1	F1-31 : 230	Ajustement du débit
16/10/2000 17:09	100.2				60.1		
19/10/2000 15:58	103.2	3.02	0.7	3.7	60.9	F1-32 : 290	Ajustement du débit
19/10/2000 17:44	103.3				60.9		
21/10/2000 18:38	105.3	0.98	0.3	7.9	61.2		Ajustement du débit
23/10/2000 16:48	107.2	1.23	0.4	6.0	61.5		Ajustement du débit
23/10/2000 16:48	107.2				61.5		
24/10/2000 14:22	108.1	2.09	1.6	1.6	62.0	F1-33 : 175	Ajustement du débit
24/10/2000 15:30	108.2	0.00			62.0		
26/10/2000 16:06	110.2	3.88	1.3	2.0	63.1		Ajustement du débit
27/10/2000 14:41	111.1	1.83	1.4	2.0	63.5	F1-34 : 160	Ajustement du débit
27/10/2000 15:37	111.2				63.5		
30/10/2000 13:21	114.1	2.39	0.6	4.6	64.2	F1-35 : 310	Ajustement du débit
30/10/2000 14:57	114.1				64.2		
02/11/2000 16:42	117.2	5.93	1.3	2.0	65.7	F1-36 : 145	
02/11/2000 17:32	117.2				65.7		
06/11/2000 16:38	121.2	8.92	1.6	1.7	68.1	F1-37 : 195	Ajustement du débit
06/11/2000 17:55	121.3				68.1		
09/11/2000 13:53	124.1	4.41	1.1	2.5	69.2	F1-38 : 350	Ajustement du débit
09/11/2000 15:23	124.2				69.2		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**124.2**	**264.2**	**1.5**	**1.8**	**69.2**		

Deuxième série d'essais (400 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour d	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
29/11/2000 13:27	124.2	0			69.2		
29/11/2000 15:59	124.3	0.34	2.2	1.2	69.3		Ajustement du débit
29/11/2000 18:23	124.4	0.38	2.6	1.0	69.4		
30/11/2000 10:31	125.0	2.81	2.9	0.9	70.1	F1-39 : 90	Ajustement du débit
30/11/2000 11:11	125.1				70.1		
30/11/2000 15:32	125.2	0.61	2.3	1.1	70.3	F1-40 : 90	Ajustement du débit
30/11/2000 16:14	125.3				70.3		
01/12/2000 14:29	126.2	2.79	2.1	1.3	71.0	F1-41 : 90	Ajustement du débit
01/12/2000 14:53	126.2				71.0		
01/12/2000 18:49	126.4	0.56	2.4	1.1	71.2		Ajustement du débit
02/12/2000 19:03	127.4	2.67	1.8	1.4	71.9	F1-42 : 160	Ajustement du débit
02/12/2000 20:02	127.4				71.9		
03/12/2000 13:06	128.1	2.01	2.0	1.4	72.4	F1-43 : 40	Ajustement du débit
03/12/2000 13:25	128.2				72.4		
04/12/2000 15:35	129.2	3.43	2.2	1.2	73.3		Ajustement du débit
05/12/2000 13:46	130.2	3.06	2.3	1.1	74.1	F1-44 : 230	Ajustement du débit
05/12/2000 14:50	130.2				74.1		
07/12/2000 16:23	132.3	5.49	1.8	1.4	75.5	F1-45 : 120	Ajustement du débit
07/12/2000 17:08	132.3				75.5		
08/12/2000 16:09	133.3	2.53	1.8	1.4	76.2		Ajustement du débit
10/12/2000 17:22	135.3	6.43	2.2	1.2	77.9		Ajustement du débit
11/12/2000 19:47	136.4	2.51	1.6	1.7	78.5	F1-46 : 80	Ajustement du débit
12/12/2000 17:56	137.3	2.73	2.1	1.3	79.3		Ajustement du débit
12/12/2000 17:56	137.3				79.3		
13/12/2000 15:34	138.2	2.96	2.3	1.2	80.0	F1-47 : 80	
14/12/2000 17:13	139.3	3.54	2.3	1.2	81.0		Ajustement du débit
15/12/2000 15:06	140.2	2.99	2.3	1.2	81.7	F1-48 : 80	Ajustement du débit
15/12/2000 15:40	140.2				81.7		
16/12/2000 16:44	141.3	2.77	1.8	1.4	82.5		Ajustement du débit
18/12/2000 11:39	143.1	4.98	1.9	1.4	83.8	F1-49: 80	Ajustement du débit
18/12/2000 12:09	143.1				83.8		
19/12/2000 17:17	144.3	4.3	2.5	1.1	84.9		Ajustement du débit
20/12/2000 12:09	145.1	2.67	2.4	1.1	85.6		Ajustement du débit
21/12/2000 15:52	146.3	4.59	2.8	1.0	86.8	F1-50: 20	Arrêt
04/01/2001 16:15	146.3				86.8		Mise en marche
05/01/2001 19:30	147.4	3.55	2.2	1.2	87.7		
05/01/2001 19:30	147.4				87.7		
06/01/2001 17:20	148.3	2.41	1.8	1.4	88.4		
08/01/2001 16:25	150.3	4.78	1.7	1.6	89.6		
09/01/2001 18:44	151.4	1.4	0.9	3.0	90.0		Ajustement du débit
10/01/2001 16:45	152.3	2.15	1.6	1.6	90.5	F1-51: 20	Ajustement du débit
10/01/2001 16:55	152.3				90.5		
11/01/2001 17:22	153.3	3.47	2.4	1.1	91.5		Ajustement du débit
12/01/2001 14:15	154.2	1.43	1.1	2.3	91.8		Ajustement du débit
15/01/2001 16:48	157.3	5.65	1.3	2.1	93.3		
15/01/2001 16:48	157.3				93.3		
16/01/2001 16:36	158.3	1.48	1.0	2.6	93.7	F1-52: 40	
16/01/2001 16:52	158.3				93.7		
17/01/2001 14:46	159.2	2.6	2.0	1.3	94.4		Ajustement du débit
18/01/2001 20:18	160.5	2.46	1.4	1.9	95.0		Ajustement du débit
18/01/2001 20:18	160.5				95.0		
21/01/2001 15:08	163.3	2.36	0.6	4.5	95.6		Ajustement du débit
22/01/2001 16:39	164.3	3.11	2.0	1.3	96.5		Ajustement du débit
23/01/2001 17:21	165.3	3.77	2.5	1.0	97.4	F1-53: 50	Ajustement du débit
23/01/2001 17:34	165.4				97.4		
24/01/2001 10:41	166.1	2.23	2.2	1.2	98.0		
27/01/2001 16:08	169.3	6.23	1.3	2.0	99.7		Ajustement du débit
27/01/2001 16:08	169.3				99.7		
31/01/2001 16:30	173.3	10.92	1.9	1.4	102.5	F1-54: 50	Ajustement du débit
31/01/2001 16:49	173.3				102.5		
02/02/2001 18:15	175.4	6.56	2.2	1.2	104.2		Ajustement du débit
04/02/2001 15:19	177.3	6.31	2.3	1.1	105.9		Ajustement du débit
04/02/2001 15:19	177.3				105.9		
05/02/2001 18:56	178.4	4.08	2.5	1.1	107.0	F1-55: 60	Ajustement du débit
05/02/2001 19:07	178.4				107.0		
06/02/2001 18:50	179.4	4.08	2.9	0.9	108.0		
07/02/2001 18:05	180.4	4.00	2.9	0.9	109.1		
MOYENNE OU TOTAL	**56.2**	**152.2**	**1.9**	**1.4**	**39.9**		

COLONNE F-2

Échantillon: Gravier 5 mm lavé
Volume des vides: 3759 cm^3
Débit visé: 2,6 cm^3/min
Masse de matériau (g) 14187
H sortie: 75,6 cm

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour heures	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
07/07/2000 15:35	0.0	0	-	-	0.0		
07/07/2000 16:20	0.0	0.12	2.8	0.9	0.0		
07/07/2000 17:25	0.1	0.17	2.6	1.0	0.1		Ajustement du débit
08/07/2000 16:15	1.0	2.79	2.0	1.3	0.8		
08/07/2000 17:30	1.1	0.16	2.1	1.3	0.9		Ajustement du débit
09/07/2000 17:00	2.1	3.16	2.2	1.2	1.7		Ajustement du débit
10/07/2000 10:30	2.8	2.07	2.0	1.3	2.3		
10/07/2000 12:55	2.9	0.19	1.3	2.0	2.3		Ajustement du débit
10/07/2000 17:25	3.1	0.62	2.3	1.1	2.5		Ajustement du débit
11/07/2000 13:00	3.9	1.75	1.5	1.7	2.9	F2-1: 200	Ajustement du débit
11/07/2000 13:50	3.9				2.9		
11/07/2000 18:15	4.1	0.53	2.0	1.3	3.1		Ajustement du débit
12/07/2000 10:25	4.8	1.47	1.5	1.7	3.5		Ajustement du débit
13/07/2000 11:13	5.8	1.64	1.1	2.4	3.9		
13/07/2000 13:20	5.9	0.04	0.3	8.3	3.9		Ajustement du débit
13/07/2000 18:55	6.1	0.87	2.6	1.0	4.1	F2-2: 200	Ajustement du débit
14/07/2000 19:33	7.2	1.38	0.9	2.8	4.5		Ajustement du débit
14/07/2000 19:33	7.2				4.5		Poids de la colonne: 31 420g
14/07/2000 21:51	7.3				4.5		
17/07/2000 11:53	9.8	4.36	1.2	2.2	5.7		
17/07/2000 13:02	9.9	0.01	0.1	18.0	5.7	F2-3. 200	Ajustement du débit
17/07/2000 14:35	10.0				5.7		
17/07/2000 18:12	10.1	0.62	2.9	0.9	5.8		
18/07/2000 11:30	10.8	1.96	1.9	1.4	6.4		Ajustement du débit
18/07/2000 18:39	11.1	0.80	1.9	1.4	6.6		Ajustement du débit
19/07/2000 13:56	11.9	1.74	1.5	1.7	7.0	F2-4 : 200	Ajustement du débit
19/07/2000 15:15	12.0				7.0		
19/07/2000 18:20	12.1	0.36	1.9	1.3	7.1		Ajustement du débit
20/07/2000 11:37	12.8	0.86	0.8	3.1	7.4		Ajustement du débit
20/07/2000 17:56	13.1	1.37	3.6	0.7	7.7		Ajustement du débit
21/07/2000 10:30	13.8	1.18	1.2	2.2	8.0	F2-5 : 250	Ajustement du débit
21/07/2000 11:30	13.8				8.0		
21/07/2000 18:43	14.1	2.94	6.8	0.4	8.8		Ajustement du débit
24/07/2000 12:56	16.9	4.08	1.0	2.5	9.9	F2-6 : 200	Ajustement du débit
24/07/2000 14:48	17.0				9.9		
24/07/2000 17:35	17.1	0.09	0.5	4.8	9.9		Ajustement du débit
25/07/2000 10:59	17.8	2.31	2.2	1.2	10.5		Poids colonne: 31 470g
25/07/2000 17:58	18.1	1.10	2.6	1.0	10.8		Ajustement du débit
26/07/2000 14:17	18.9	2.42	2.0	1.3	11.5	F2-7 : 200	Ajustement du débit
27/07/2000 13:45	19.9	1.81	1.3	2.0	12.0		Ajustement du débit
28/07/2000 14:48	21.0	3.09	2.1	1.3	12.8	F2-8 : 200	Ajustement du débit
28/07/2000 16:00	21.0				12.8		
31/07/2000 14:54	24.0	6.81	1.6	1.6	14.6	F2-9 : 200	Ajustement du débit
31/07/2000 16:00	24.0				14.6		
01/08/2000 12:14	24.9	2.60	2.1	1.2	15.3		Ajustement du débit
01/08/2000 12:47	24.9	1.06	32.1	0.1	15.6		Ajustement du débit
02/08/2000 12:15	25.9	1.21	0.9	3.0	15.9	F2-10 : 200	Ajustement du débit
02/08/2000 13:00	25.9				15.9		
02/08/2000 17:25	26.1	0.50	1.9	1.4	16.0		Ajustement du débit
03/08/2000 17:10	27.1	1.82	1.3	2.0	16.5		Poids colonne: 31 480g
04/08/2000 10:44	27.8	2.04	1.9	1.3	17.1		Ajustement du débit
04/08/2000 13:29	27.9	0.71	4.3	0.6	17.2	F2-11 : 140	
04/08/2000 15:00	28.0				17.2		
04/08/2000 16:55	28.1	0.36	3.1	0.8	17.3		
07/08/2000 12:49	30.9	1.91	0.5	5.6	17.8	F2-12 : 250	Ajustement du débit
07/08/2000 14:15	30.9				17.8		
07/08/2000 19:03	31.1	0.75	2.6	1.0	18.0		Ajustement du débit
08/08/2000 17:08	32.1	2.74	2.1	1.3	18.8		Ajustement du débit
09/08/2000 11:24	32.8	2.23	2.0	1.3	19.4	F2-13 : 280	Ajustement du débit
09/08/2000 12:58	32.9				19.4		
09/08/2000 17:12	33.1	0.59	2.3	1.1	19.5		Ajustement du débit
10/08/2000 16:46	34.0	1.53	1.1	2.4	19.9		Ajustement du débit
14/08/2000 13:21	37.9	1.09	0.2	13.3	20.2	F2-14 : 280	Ajustement du débit
14/08/2000 14:30	38.0				20.2		

Première série d'essais (suite)

Date	Nb de jours d'essais	Volume sortie L	Débit moyen cm^3/min	Temps de séjour heures	Nb de volumes de pores	Échantillon	Commentaires
17/08/2000 14:11	40.9	3.25	0.8	3.5	21.1	F2-15 : 175	Ajustement du débit
17/08/2000 15:00	41.0				21.1		
21/08/2000 15:10	45.0	3.50	0.6	4.3	22.0	F2-16 : 180	Ajustement du débit
21/08/2000 16:00	45.0				22.0		
24/08/2000 12:10	47.9	22.03	5.4	0.5	27.9	F2-17 : 180	Ajustement du débit
24/08/2000 13:00	47.9				27.9		
28/08/2000 14:00	51.9	2.99	0.5	5.1	28.7	F2-18 : 315	Ajustement du débit
28/08/2000 15:45	52.0				28.7		
29/08/2000 12:25	52.9	2.91	2.3	1.1	29.4		Ajustement du débit
30/08/2000 13:30	53.9	2.83	1.9	1.4	30.2		Ajustement du débit
31/08/2000 11:10	54.8	1.60	1.2	2.1	30.6	F2-19 : 300	Ajustement du débit
31/08/2000 12:50	54.9				30.6		
01/09/2000 15:00	56.0	1.99	1.3	2.1	31.2		Ajustement du débit
04/09/2000 12:25	58.9	2.51	0.6	4.3	31.8	F2-20 : 150	Ajustement du débit
04/09/2000 13:15	58.9				31.8		
05/09/2000 16:15	60.0	3.94	2.4	1.1	32.9		Poids colonne: 31490g
06/09/2000 13:50	60.9	2.63	2.0	1.3	33.6		Ajustement du débit
07/09/2000 11:33	61.8	1.84	1.4	1.8	34.1	F2-21 : 240	Ajustement du débit
07/09/2000 13:10	61.9				34.1		
08/09/2000 15:05	63.0	2.03	1.3	2.0	34.6		Ajustement du débit
11/09/2000 21:57	66.3	3.52	0.7	3.5	35.5		Ajustement du débit
11/09/2000 21:57	66.3				35.5		
12/09/2000 13:20	66.9	1.08	1.2	2.2	35.8	F2-22 : 100	Ajustement du débit
13/09/2000 14:00	67.9				35.8		Arrêt
14/09/2000 11:37	67.9	0.00			35.8		Mise en marche
14/09/2000 12:38	67.9	4.52	74.1	0.0	37.0		Ajustement du débit
15/09/2000 15:56	69.1	1.96	1.2	2.2	37.5	F2-23 : 170	Ajustement du débit
15/09/2000 16:53	69.1				37.5		
18/09/2000 13:44	72.0	6.31	1.5	1.7	39.2	F2-24 : 150	Ajustement du débit
18/09/2000 14:35	72.0				39.2		
19/09/2000 16:51	73.1	4.46	2.8	0.9	40.4		Ajustement du débit
20/09/2000 14:59	74.0	2.71	2.0	1.3	41.1		Ajustement du débit
21/09/2000 14:57	75.0	3.32	2.3	1.1	42.0	F2-25 : 150	Ajustement du débit
21/09/2000 15:58	75.1				42.0		
22/09/2000 10:33	75.9	5.06	4.5	0.6	43.4		
26/09/2000 11:28	79.9	8.55	1.5	1.8	45.6	F2-26 : 210	Ajustement du débit
26/09/2000 12:49	80.0				45.6		
28/09/2000 14:59	82.0	5.22	1.7	1.5	47.0		Ajustement du débit
01/10/2000 21:33	85.3	9.26	2.0	1.3	49.5		
01/10/2000 21:33	85.3				49.5		
03/10/2000 14:28	87.0	4.19	1.7	1.5	50.6	F2-27 : 190	Ajustement du débit
03/10/2000 15:34	87.1				50.6		
06/10/2000 09:25	89.8	9.54	2.4	1.1	53.1	F2-28 : 200	Ajustement du débit
06/10/2000 10:36	89.9				53.1		
09/10/2000 14:30	93.0	9.31	2.0	1.3	55.6	F2-29 : 160	Ajustement du débit
09/10/2000 15:35	93.1				55.6		
12/10/2000 15:23	96.1	10.44	2.4	1.1	58.4	F2-30 : 170	Ajustement du débit
12/10/2000 16:29	96.1				58.4		
16/10/2000 15:49	100.1	10.27	1.8	1.5	61.1	F2-31 : 220	Ajustement du débit
16/10/2000 17:09	100.1				61.1		
19/10/2000 16:01	103.1	6.03	1.4	1.8	62.7	F2-32 : 270	Ajustement du débit
19/10/2000 17:44	103.2				62.7		
21/10/2000 18:40	105.2	1.20	0.4	6.4	63.1		Ajustement du débit
23/10/2000 17:04	107.1	9.36	3.4	0.8	65.5		Ajustement du débit
23/10/2000 17:04	107.1				65.5		
24/10/2000 14:31	108.0	4.46	3.5	0.8	66.7	F2-33 : 170	Ajustement du débit
24/10/2000 15:30	108.1				66.7		
26/10/2000 16:11	110.1	6.12	2.1	1.2	68.4		Ajustement du débit
27/10/2000 14:43	111.0	2.73	2.0	1.3	69.1	F2-34 : 130	Ajustement du débit
27/10/2000 15:37	111.1				69.1		
30/10/2000 13:39	114.0	4.98	1.2	2.2	70.4	F2-35 : 280	Ajustement du débit
30/10/2000 14:57	114.0				70.4		
02/11/2000 16:58	117.1	9.46	2.1	1.2	72.9	F2-36 : 165	
02/11/2000 17:33	117.1				72.9		
06/11/2000 16:52	121.1	15.28	2.7	1.0	77.0	F2-37 : 200	Ajustement du débit
06/11/2000 17:55	121.2				77.0		
09/11/2000 14:09	124.0	13.21	3.2	0.8	80.5	F2-38 : 355	
09/11/2000 15:55	124.1				80.5		FIN DE L'ESSAI
MOYENNE OU TOTAL	**124.1**	**302.6**	**1.7**	**1.5**	**80.5**		

Résultats des analyses de routine (colonne A1, serpentine)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
A1-1	145	1530	9,45	466	0.04
A1-2	180	456	9,70	182	0.10
A1-3	175	280	9,47	138	0.09
A1-4	195	215	9,66	100	0.06
A1-5	-	176	9,85	80	0.10
A1-6	145	167	9,91	66	0.31
A1-7	145	161	10,03	66	0.06
A1-8	130	153	10,11	-	0.05
A1-9	135	153	9,74	64	0.12
A1-10	160	153	10,09	60	0.40
A1-11	155	159	9,95	62	0.59
A1-12	135	157	9,86	60	2.66
A1-13	155	161	9,94	56	3.84
A1-14	135	147	9,82	54	4.79
A1-15	155	158	9,91	54	6.30
A1-16	110	156	9,84	52	7.59
A1-17	135	162	9,89	52	8.08
A1-18	-	-	-	-	-
A1-19	-	-	-	-	67.81
A1-20	-	-	-	-	133.56
A1-21	-	-	-	-	154.11
A1-22	-	-	-	-	157.53
A1-23	-	-	-	-	148.97
A1-24	245	1390	9,68	346	133.56
A1-25	275	1420	9,69	364	143.84
A1-26	250	1400	9,63	362	160.96
A1-27	250	1490	9,40	366	164.38
A1-28	280	1350	9,76	366	172.95
A1-29	-	-	-	-	167.81
A1-30	-	-	-	-	193.49
A1-31	-	-	-	-	202.05
A1-32	-	-	-	-	205.48
A1-33	-	-	-	-	212.33
A1-34	-	-	-	-	226.03

Résultats des analyses de routine (colonne A2, serpentine)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
A2-1	135	1239	9,42	398	0.02
A2-2	165	386	9,73	176	0.07
A2-3	170	248	9,58	140	0.09
A2-4	180	209	9,79	94	0.04
A2-5	-	164	9,85	72	0.05
A2-6	135	170	9,92	66	0.24
A2-7	130	161	9,96	66	0.04
A2-8	125	158	10,10	-	0.01
A2-9	130	152	9,87	62	0.20
A2-10	155	156	10,17	62	1.11
A2-11	145	161	9,96	58	1.91
A2-12	135	159	9,82	58	3.22
A2-13	155	162	9,92	54	4.22
A2-14	105	154	9,91	54	4.71
A2-15	150	159	9,94	56	6.96
A2-16	110	159	9,87	52	7.59
A2-17	120	165	9,90	50	8.52

Résultats des analyses de routine (colonne B1, serpentine + calcaire)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
B1-1	140	2190	8,61	36	0.02
B1-2	190	545	8,97	28	0.05
B1-3	190	338	8,92	28	0.04
B1-4	195	241	9,15	32	0.03
B1-5	-	202	9,18	36	0.07
B1-6	150	190	9,44	43	0.47
B1-7	150	177	9,54	44	0.61
B1-8	140	173	9,65	-	0.87
B1-9	140	170	9,24	48	2.28
B1-10	165	169	9,37	48	3.14
B1-11	155	175	9,25	50	4.52
B1-12	145	173	9,32	52	6.01
B1-13	150	184	9,31	58	6.44
B1-14	150	169	9,43	54	6.07
B1-15	160	171	9,44	54	7.39
B1-16	140	173	9,30	54	7.27
B1-17	145	179	9,45	52	7.70
B1-18	-	-	-	-	-
B1-19	-	-	-	-	135.15
B1-20	-	-	-	-	186.64
B1-21	-	-	-	-	222.60
B1-22	-	-	-	-	232.88
B1-23	-	-	-	-	241.44
B1-24	320	1660	7,59	484	248.29
B1-25	340	1680	7,63	498	255.14
B1-26	320	1670	7,48	492	263.70
B1-27	315	1740	7,63	506	287.67
B1-28	345	1590	7,66	506	294.52
B1-29	-	-	-	-	291.10
B1-30	-	-	-	-	315.07
B1-31	-	-	-	-	342.47
B1-32	-	-	-	-	347.60
B1-33	-	-	-	-	340.75
B1-34	-	-	-	-	340.75

Résultats des analyses de routine (colonne B2, serpentine + calcaire)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
B2-1	135	1800	8,57	40	0.01
B2-2	190	546	9,00	28	0.03
B2-3	185	250	8,91	30	0.05
B2-4	195	226	9,12	36	0.03
B2-5	-	200	9,16	42	0.07
B2-6	155	187	9,44	46	1.65
B2-7	150	176	9,48	50	2.23
B2-8	145	167	9,55	-	3.12
B2-9	145	172	9,32	54	4.10
B2-10	165	170	9,37	54	4.89
B2-11	165	179	9,32	58	5.22
B2-12	145	183	9,18	56	6.05
B2-13	160	179	9,37	54	6.21
B2-14	160	176	9,29	58	6.10
B2-15	155	179	9,32	56	6.88
B2-16	130	177	9,19	56	7.58
B2-17	155	184	9,34	54	7.55

Résultats des analyses de routine (colonne C1, scories d'acier)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
C1-1	80	549	11,32	188	< 0.01
C1-2	85	590	11,07	192	< 0.01
C1-3	65	573	10,97	190	< 0.01
C1-4	60	582	11,10	198	0.22
C1-5	60	488	10,95	186	0.23
C1-6	55	601	11,13	200	< 0.01
C1-7	60	590	11,03	196	0.01
C1-8	75	628	11,13	200	0.02
C1-9	70	577	10,97	182	0.03
C1-10	45	629	11,03	188	0.01
C1-11	80	598	11,18	188	0.01
C1-12	80	631	11,00	196	< 0.01
C1-13	60	631	11,02	184	0.01
C1-14	80	612	11,11	192	0.08
C1-15	80	634	10,96	188	0.10
C1-16	60	626	11,07	190	0.06
C1-17	65	616	11,16	192	0.12
C1-18	85	646	11,06	196	0.03
C1-19	70	663	10,94	170	0.10
C1-20	75	628	10,19	196	0.09
C1-21	85	566	10,98	176	0.05
C1-22	110	711	10,65	188	< 0.01
C1-23	110	674	11,14	190	0.03
C1-24	150	623	10,83	178	0.05
C1-25	120	622	11,22	180	0.03
C1-26	-	489	10,98	146	0.01
C1-27	140	663	11,27	184	0.13
C1-28	145	653	10,82	186	0.01
C1-29	80	670	11,38	-	< 0.01
C1-30	95	587	11,17	182	0.03
C1-31	90	695	11,53	192	0.06
C1-32	80	688	11,16	188	< 0.01
C1-33	95	631	11,23	184	0.05
C1-34	80	652	11,19	188	0.05
C1-35	110	530	11,35	168	0.02
C1-36	100	695	11,39	188	0.01
C1-37	110	661	11,35	178	0.01
C1-38	80	649	11,28	174	0.01
C1-39	-	-	-	-	0.27
C1-40	-	-	-	-	0.48
C1-41	-	-	-	-	0.48
C1-42	-	-	-	-	0.68
C1-43	-	-	-	-	0.34
C1-44	-	-	-	-	2.40
C1-45	175	1540	11,19	498	27.95
C1-46	190	1450	10,91	468	30.82
C1-47	205	1400	10,67	470	59.93
C1-48	190	1430	10,64	452	73.29
C1-49	195	1550	11,30	564	7.74
C1-50	-	-	-	-	15.75
C1-51	-	-	-	-	8.22
C1-52	-	-	-	-	10.96
C1-53	-	-	-	-	10.96
C1-54	-	-	-	-	4.79
C1-55	-	-	-	-	4.79

Résultats des analyses de routine (colonne C2, scories d'acier)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
C2-1	95	643	11,45	194	< 0.01
C2-2	90	574	11,18	194	< 0.01
C2-3	65	637	11,06	192	< 0.01
C2-4	65	621	11,12	186	0.20
C2-5	60	534	11,02	184	0.19
C2-6	55	646	11,17	198	< 0.01
C2-7	50	635	11,11	194	0.01
C2-8	70	654	11,12	199	0.02
C2-9	65	612	11,07	190	0.01
C2-10	45	671	11,09	186	0.02
C2-11	80	655	11,23	192	< 0.01
C2-12	70	670	11,02	204	< 0.01
C2-13	60	670	11,00	176	0.01
C2-14	75	622	11,22	184	0.04
C2-15	75	652	11,05	188	0.08
C2-16	60	643	11,18	188	0.01
C2-17	65	641	11,22	194	0.04
C2-18	85	684	11,12	194	0.01
C2-19	65	713	11,01	172	< 0.01
C2-20	75	668	10,27	198	0.05
C2-21	70	598	11,04	176	0.02
C2-22	100	715	10,73	190	< 0.01
C2-23	105	698	11,21	188	0.02
C2-24	135	679	10,96	178	0.04
C2-25	115	641	11,25	176	< 0.01
C2-26	-	513	10,91	122	0.02
C2-27	135	695	11,29	186	0.01
C2-28	110	680	11,18	190	0.03
C2-29	75	663	11,38	-	< 0.01
C2-30	65	589	11,08	180	0.01
C2-31	105	702	11,57	186	0.06
C2-32	90	707	11,31	192	< 0.01
C2-33	100	642	11,24	180	0.06
C2-34	90	677	11,21	188	0.03
C2-35	105	546	11,35	166	0.01
C2-36	95	697	11,37	190	< 0.01
C2-37	80	666	11,33	184	< 0.01
C2-38	80	686	11,31	182	< 0.01

Résultats des analyses de routine (colonne D1, scories d'acier + calcaire)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration en P mg P/L
D1-1	90	558	11,36	180	< 0.01
D1-2	85	667	11,13	184	< 0.01
D1-3	70	589	11,01	186	< 0.01
D1-4	65	585	11,06	190	0.20
D1-5	65	511	10,97	178	0.19
D1-6	65	621	11,16	190	< 0.01
D1-7	50	614	11,10	188	0.01
D1-8	80	622	11,18	193	0.02
D1-9	60	607	11,05	180	0.02
D1-10	45	648	11,04	184	0.01
D1-11	80	633	11,21	190	< 0.01
D1-12	70	652	11,10	192	0.01
D1-13	60	646	11,02	174	0.02
D1-14	70	635	11,23	190	0.02
D1-15	75	628	11,02	195	0.01
D1-16	60	636	11,17	188	0.01
D1-17	60	639	11,21	192	0.01
D1-18	80	651	11,09	188	< 0.01
D1-19	60	672	10,98	174	0.01
D1-20	70	630	10,23	196	0.04
D1-21	85	572	10,99	176	0.01
D1-22	100	699	10,75	194	0.02
D1-23	100	663	11,19	190	0.03
D1-24	125	653	10,96	184	0.01
D1-25	110	598	11,16	174	0.02
D1-26	-	483	10,92	144	0.02
D1-27	135	648	11,24	186	0.06
D1-28	110	649	11,21	186	0.01
D1-29	75	639	11,30	-	0.01
D1-30	60	565	11,18	180	0.02
D1-31	105	668	11,26	180	0.05
D1-32	90	671	11,22	188	0.02
D1-33	70	611	11,19	176	0.36
D1-34	80	622	11,16	182	0.07
D1-35	100	547	11,16	172	0.01
D1-36	90	651	11,33	186	< 0.01
D1-37	90	592	11,26	172	0.01
D1-38	85	671	11,29	182	0.01
D1-39	-	-	-	-	0.68
D1-40	-	-	-	-	0.96
D1-41	-	-	-	-	0.41
D1-42	-	-	-	-	0.48
D1-43	-	-	-	-	0.89
D1-44	-	-	-	-	13.70
D1-45	160	1730	11,51	514	34.25
D1-46	175	1430	10,96	472	2.40
D1-47	195	1430	10,64	468	51.37
D1-48	170	1510	10,92	484	80.14
D1-49	200	1360	10,76	460	54.79
D1-50	-	-	-	-	80.82
D1-51	-	-	-	-	45.21
D1-52	-	-	-	-	41.78
D1-53	-	-	-	-	15.75
D1-54	-	-	-	-	4.79
D1-55	-	-	-	-	37.67

Résultats des analyses de routine (colonne D2, scories d'acier + calcaire)

Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
D2-1	105	672	11,35	192	< 0.01
D2-2	90	676	11,21	190	< 0.01
D2-3	70	630	11,03	184	< 0.01
D2-4	65	624	11,09	189	0.20
D2-5	90	542	10,97	181	0.20
D2-6	60	657	11,15	190	< 0.01
D2-7	50	654	11,12	191	< 0.01
D2-8	80	649	11,18	194	0.02
D2-9	65	632	11,06	186	0.01
D2-10	45	665	11,05	176	0.01
D2-11	80	646	11,23	190	< 0.01
D2-12	70	677	11,03	196	< 0.01
D2-13	60	682	7,01	1,4	0.01
D2-14	75	661	11,22	188	0.05
D2-15	75	646	11,04	196	0.01
D2-16	60	646	11,20	192	0.01
D2-17	60	644	11,20	190	< 0.01
D2-18	75	681	11,17	188	< 0.01
D2-19	65	684	10,98	166	< 0.01
D2-20	70	660	10,13	196	0.07
D2-21	85	575	10,99	168	0.01
D2-22	95	697	10,72	188	0.03
D2-23	100	681	11,24	178	0.01
D2-24	125	643	10,96	170	0.01
D2-25	110	592	11,15	166	0.02
D2-26	-	427	10,89	132	0.04
D2-27	135	630	11,18	166	0.01
D2-28	105	646	11,27	180	0.01
D2-29	80	643	11,35	-	< 0.01
D2-30	65	552	11,14	172	0.02
D2-31	100	667	11,51	172	0.06
D2-32	85	689	10,91	184	< 0.01
D2-33	70	584	11,16	168	0.02
D2-34	85	604	11,11	170	0.04
D2-35	100	581	11,21	164	0.03
D2-36	95	673	11,36	186	< 0.01
D2-37	85	625	11,30	176	< 0.01
D2-38	100	689	11,30	182	< 0.01

Résultats des analyses de routine (colonne F1, gravier)

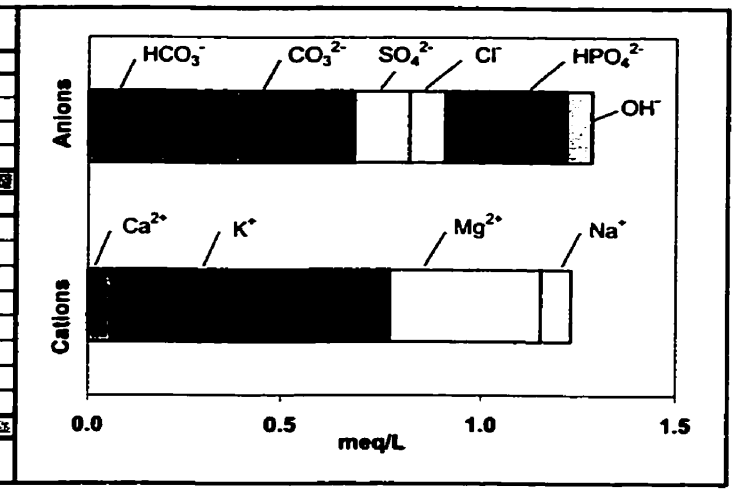
Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
F1-1	195	131	7,18	37	17.93
F1-2	220	136	7,19	38	16.30
F1-3	220	131	7,07	34	16.30
F1-4	195	128	7,04	31	18.84
F1-5	210	125	6,97	32	19.66
F1-6	145	134	6,96	34	16.37
F1-7	195	132	7,00	31	19.66
F1-8	215	125	6,97	30	18.49
F1-9	175	137	7,01	32	17.67
F1-10	190	129	6,98	28	17.88
F1-11	170	125	7,01	32	18.01
F1-12	145	125	6,95	30	18.36
F1-13	200	125	7,02	28	17.19
F1-14	155	128	6,95	29	16.54
F1-15	165	135	7,13	36	14.34
F1-16	135	127	7,20	37	15.67
F1-17	125	141	7,41	38	15.30
F1-18	145	124	6,99	30	16.70
F1-19	195	125	6,91	26	18.59
F1-20	200	106	5,99	20	18.94
F1-21	200	122	6,81	22	17.79
F1-22	195	121	6,86	24	17.80
F1-23	185	119	6,99	26	17.60
F1-24	205	114	6,81	24	17.78
F1-25	280	115	7,02	24	17.91
F1-26	-	115	7,01	24	17.13
F1-27	270	114	6,98	22	18.06
F1-28	245	112	6,98	22	17.76
F1-29	250	106	7,04	-	17.22
F1-30	245	113	6,91	22	18.40
F1-31	230	114	7,00	22	17.83
F1-32	255	118	7,06	26	17.17
F1-33	235	117	7,07	26	17.03
F1-34	245	117	6,96	22	18.35
F1-35	255	114	7,02	24	17.73
F1-36	255	114	7,03	24	18.27
F1-37	280	113	6,94	22	17.76
F1-38	280	118	6,98	24	17.64
F1-39	-	-	-	-	253.42
F1-40	-	-	-	-	273.97
F1-41	-	-	-	-	325.34
F1-42	-	-	-	-	340.75
F1-43	-	-	-	-	349.32
F1-44	-	-	-	-	356.16
F1-45	375	1291	5,90	50	349.32
F1-46	365	1279	5,89	48	340.75
F1-47	370	1291	5,82	48	376.71
F1-48	370	1350	5,93	50	386.99
F1-49	390	1235	5,86	46	371.58
F1-50	-	-	-	-	380.14
F1-51	-	-	-	-	380.14
F1-52	-	-	-	-	409.25
F1-53	-	-	-	-	410.96
F1-54	-	-	-	-	380.14
F1-55	-	-	-	-	388.70

Résultats des analyses de routine (colonne F2, gravier)

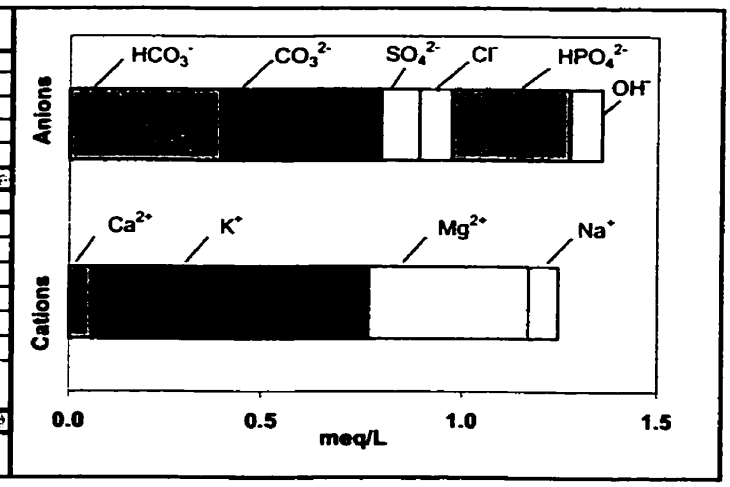
Échantillon	Potentiel redox mV	Conductivité µS/cm	pH unités pH	Alcalinité totale mg $CaCO_3$/L	Concentration mg P/L
F2-1	175	136	7,27	38	18.05
F2-2	210	136	7,23	38	16.30
F2-3	230	141	7,16	38	15.27
F2-4	190	131	7,10	34	18.70
F2-5	195	138	7,09	34	18.49
F2-6	185	140	7,10	36	16.37
F2-7	195	131	7,02	30	19.93
F2-8	235	127	6,99	29	18.36
F2-9	200	133	6,98	28	17.60
F2-10	200	128	6,98	28	17.95
F2-11	210	125	6,94	30	18.29
F2-12	165	130	6,98	32	17.95
F2-13	205	124	5,83	28	17.67
F2-14	160	132	7,02	30	16.78
F2-15	170	128	7,15	34	16.45
F2-16	125	125	7,13	34	16.65
F2-17	130	139	6,94	32	18.31
F2-18	160	125	7,01	30	16.30
F2-19	215	126	6,89	24	18.32
F2-20	200	119	6,27	30	17.20
F2-21	210	121	6,83	24	18.47
F2-22	215	124	6,91	26	18.10
F2-23	210	121	6,92	26	17.47
F2-24	240	115	6,81	24	18.36
F2-25	290	115	6,92	24	18.99
F2-26	-	6,96	6,96	26	18.12
F2-27	280	113	6,96	24	19.11
F2-28	255	110	6,99	22	18.41
F2-29	265	105	6,96	-	18.78
F2-30	240	113	6,93	22	18.61
F2-31	255	112	6,94	22	18.30
F2-32	270	115	7,01	24	18.14
F2-33	230	115	6,92	22	19.28
F2-34	255	117	6,98	22	18.34
F2-35	270	113	6,98	24	17.83
F2-36	265	113	6,98	24	18.81
F2-37	280	111	6,92	22	18.19
F2-38	300	111	6,84	22	18.79

ANNEXE 7 - BILANS IONIQUES

BILAN IONIQUE ÉCHANTILLON A1-14		
Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	1.18	0.059
K^{+}	27.8	0.711
Mg^{2+}	4.70	0.387
Na^{+}	1.76	0.077
		[illegible]
Anions	mg/L	meq/L
HCO_3^-	20	0.400
CO_3^{2-}	14	0.280
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	3.2	0.090
$H_2PO_4^-$	0.037	0.000
HPO_4^{2-}	14.810	0.309
PO_4^{3-}	0.019	0.001
OH^-	9.82	0.066
		[illegible]
Erreur (%) :	[illegible]	

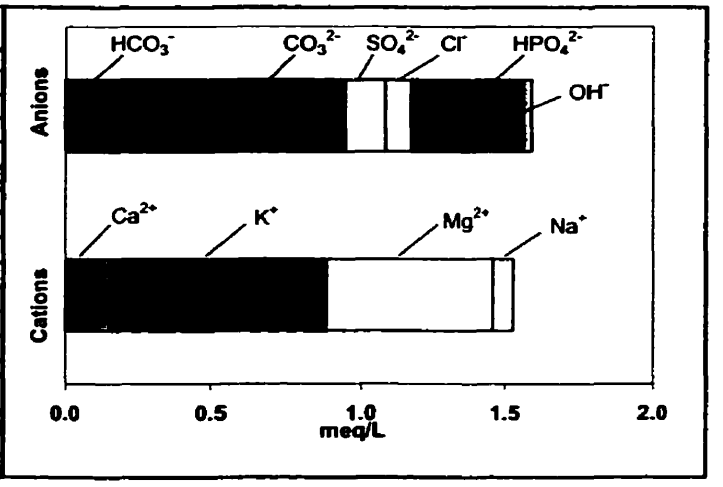


BILAN IONIQUE ÉCHANTILLON A2-14		
Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	1.12	0.056
K^{+}	27.7	0.708
Mg^{2+}	4.95	0.407
Na^{+}	1.74	0.076
		[illegible]
Anions	mg/L	meq/L
HCO_3^-	24	0.393
CO_3^{2-}	20	0.400
SO_4^{2-}	4.68	0.097
Cl^-	2.9	0.082
$H_2PO_4^-$	0.029	0.000
HPO_4^{2-}	14.541	0.303
PO_4^{3-}	0.023	0.001
OH^-	9.91	0.081
		[illegible]
Erreur (%) :	[illegible]	



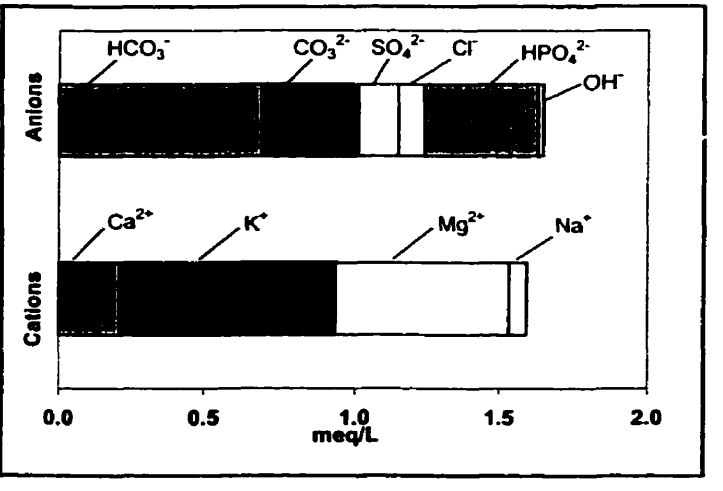
BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON B1-14

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	3.10	0.155
K^{+}	28.4	0.726
Mg^{2+}	7.00	0.576
Na^{+}	1.64	0.071
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	38	0.623
CO_3^{2-}	16	0.320
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	3.2	0.090
$H_2PO_4^-$	0.113	0.001
HPO_4^{2-}	18.682	0.389
PO_4^{3-}	0.010	0.000
OH^-	9.43	0.027
		[illegible]
Erreur (%) :		[illegible]



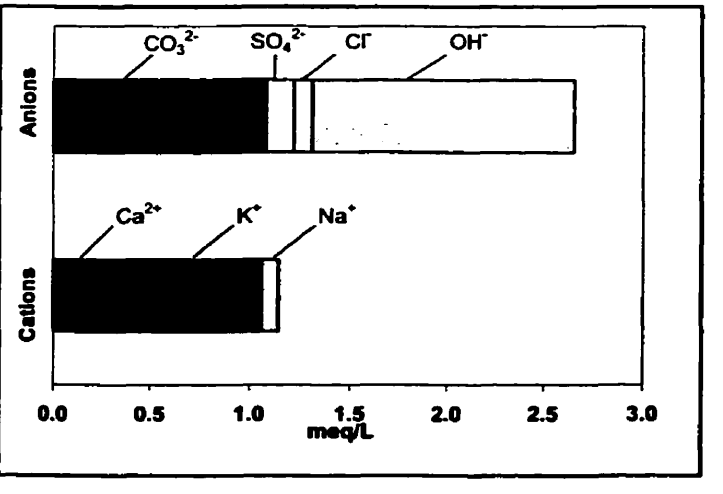
BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON B2-14

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	4.24	0.212
K^{+}	28.2	0.721
Mg^{2+}	7.30	0.601
Na^{+}	1.41	0.061
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	42	0.689
CO_3^{2-}	16	0.320
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	3.2	0.090
$H_2PO_4^-$	0.157	0.002
HPO_4^{2-}	18.738	0.390
PO_4^{3-}	0.007	0.000
OH^-	9.29	0.019
		[illegible]
Erreur (%) :		[illegible]



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON C1-6

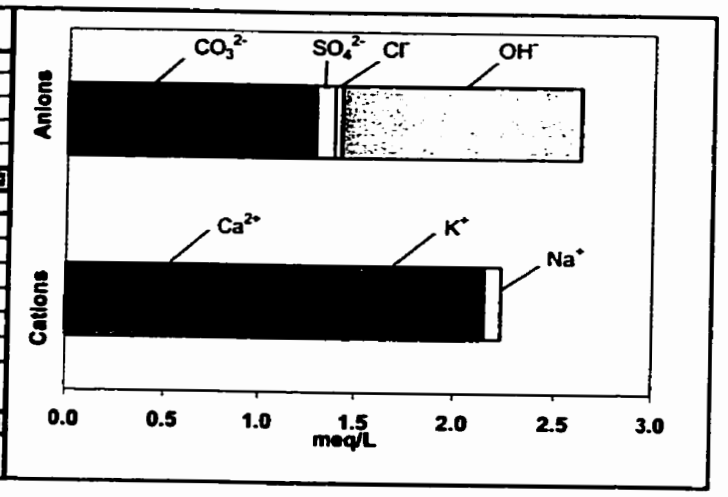
Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	9.1	0.455
K^{+}	23.6	0.604
Mg^{2+}	0.015	0.001
Na^{+}	1.95	0.085
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	54	1.080
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	3.2	0.090
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.000	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.13	1.349
		[illegible]
Erreur (%) :		[illegible]



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON C1-12

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	31.0	1.550
K^+	23.1	0.591
Mg^{2+}	0.034	0.003
Na^+	1.96	0.085
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	64	1.280
SO_4^{2-}	4.97	0.103
Cl^-	1.3	0.037
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.004	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.08	1.202
		[illegible]

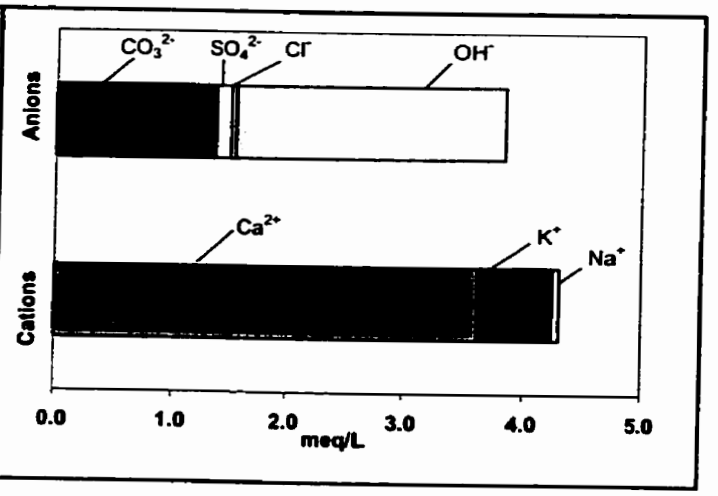
Erreur (%) : [illegible]



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON C1-35

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	72.3	3.615
K^+	24.0	0.614
Mg^{2+}	0.090	0.007
Na^+	1.43	0.062
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	68	1.360
SO_4^{2-}	6.69	0.139
Cl^-	1.5	0.042
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.007	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.36	2.291
		[illegible]

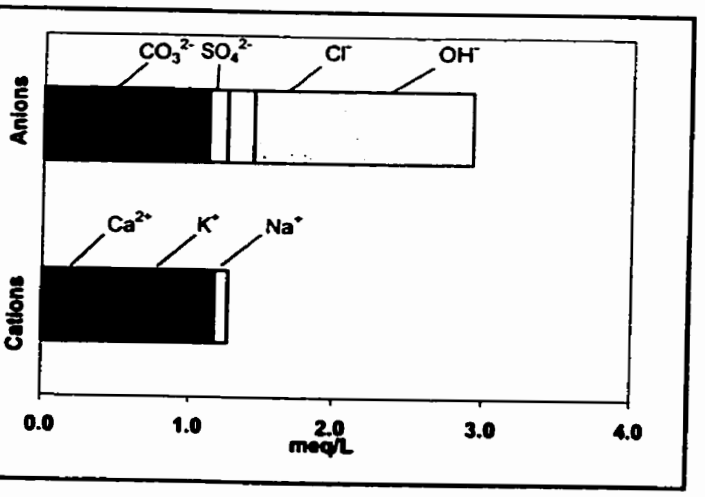
Erreur (%) : 5.7



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON C2-6

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	11.6	0.580
K^+	23.2	0.593
Mg^{2+}	0.012	0.001
Na^+	2.24	0.097
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	56	1.120
SO_4^{2-}	6.51	0.136
Cl^-	6.6	0.186
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.000	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.17	1.479
		[illegible]

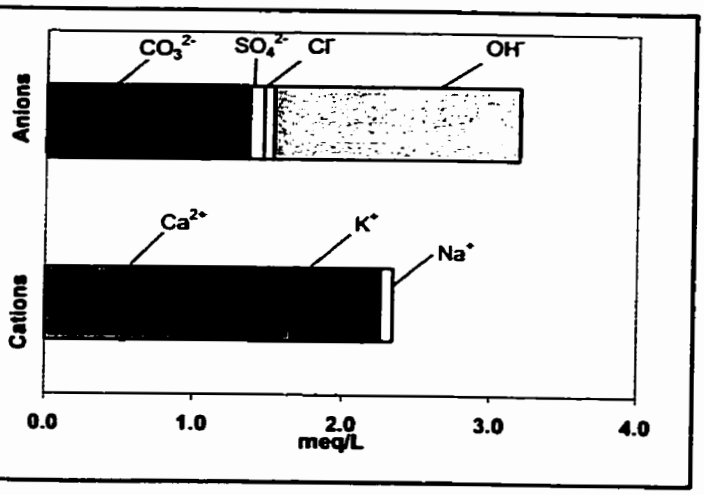
Erreur (%) : [illegible]



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON C2-12

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	33.3	1.665
K^+	23.1	0.591
Mg^{2+}	0.021	0.002
Na^+	1.92	0.084
		2.341
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	68	1.360
SO_4^{2-}	4.97	0.103
Cl^-	2.5	0.071
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.004	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.22	1.660
		3.194

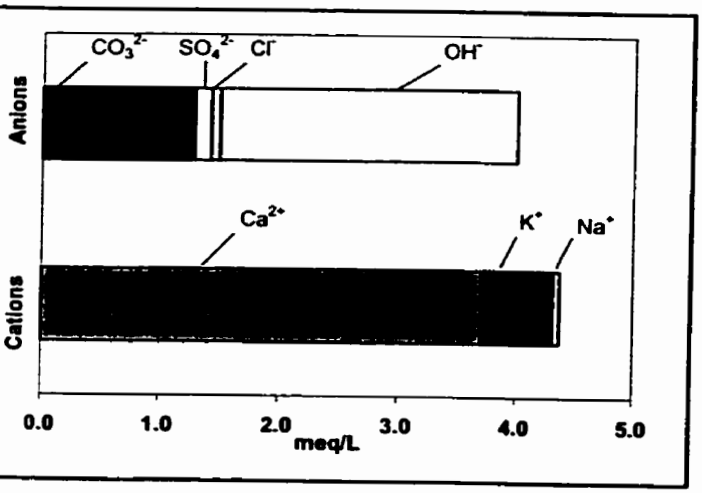
Erreur (%) : 15.4



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON C2-35

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	74.1	3.705
K^+	23.7	0.606
Mg^{2+}	0.090	0.007
Na^+	1.47	0.064
		4.382
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	64	1.280
SO_4^{2-}	6.57	0.137
Cl^-	2.5	0.071
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.003	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.40	2.512
		3.999

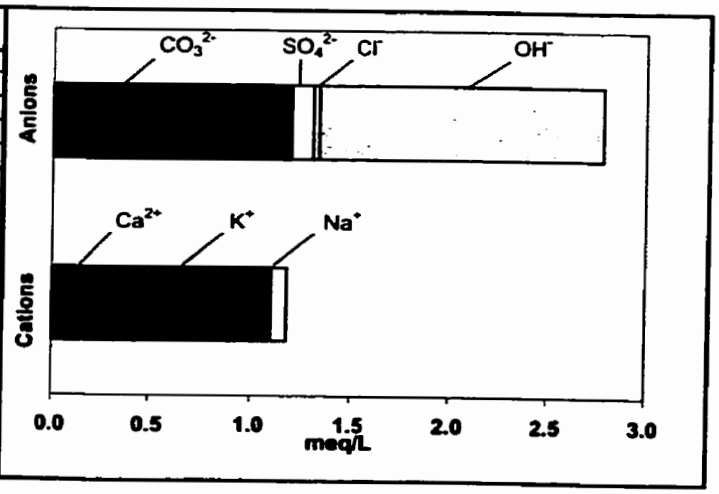
Erreur (%) : 4.6



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON D1-6

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	10.2	0.510
K^+	23.1	0.591
Mg^{2+}	0.021	0.002
Na^+	1.91	0.083
		1.186
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	60	1.200
SO_4^{2-}	5.30	0.110
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.000	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.16	1.445
		2.784

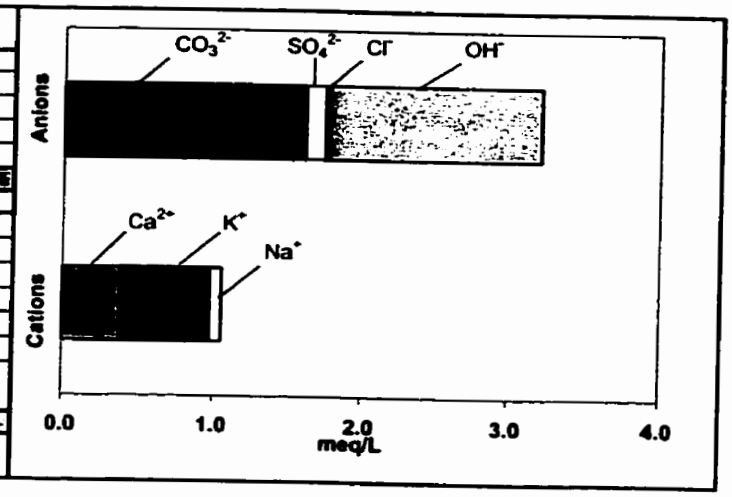
Erreur (%) : 40.3



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON D1-12

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	7.6	0.380
K^{+}	23.0	0.588
Mg^{2+}	0.037	0.003
Na^{+}	1.84	0.080
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	80	1.600
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.043	0.001
PO_4^{3-}	0.001	0.000
OH^-	11.16	1.445
		3.214

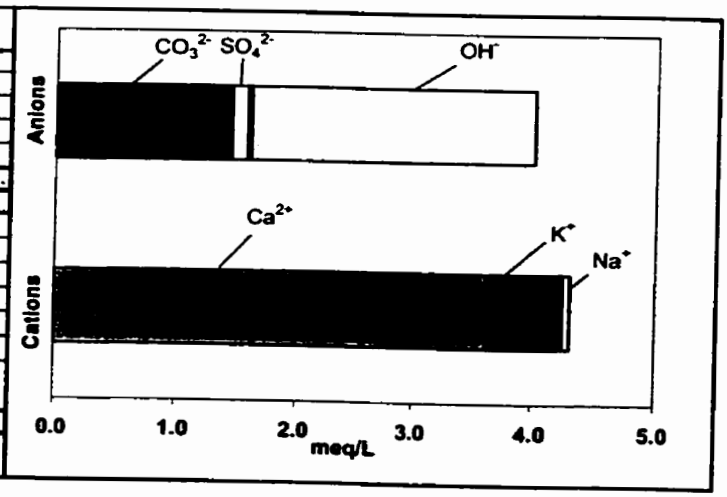
Erreur (%) : 50.7



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON D1-35

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	72.3	3.615
K^{+}	24.1	0.616
Mg^{2+}	0.100	0.008
Na^{+}	1.42	0.062
		4.301
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	72	1.440
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.015	0.000
PO_4^{3-}	0.001	0.000
OH^-	11.38	2.399
		4.006

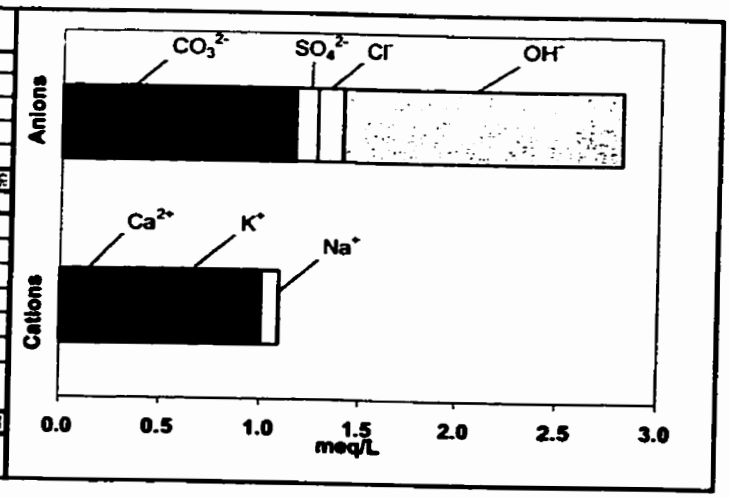
Erreur (%) : 3.5



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON D2-6

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	7.8	0.390
K^{+}	23.7	0.606
Mg^{2+}	0.024	0.002
Na^{+}	2.09	0.091
		1.089
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	58	1.160
SO_4^{2-}	5.47	0.114
Cl^-	4.6	0.130
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.000	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.15	1.413
		2.816

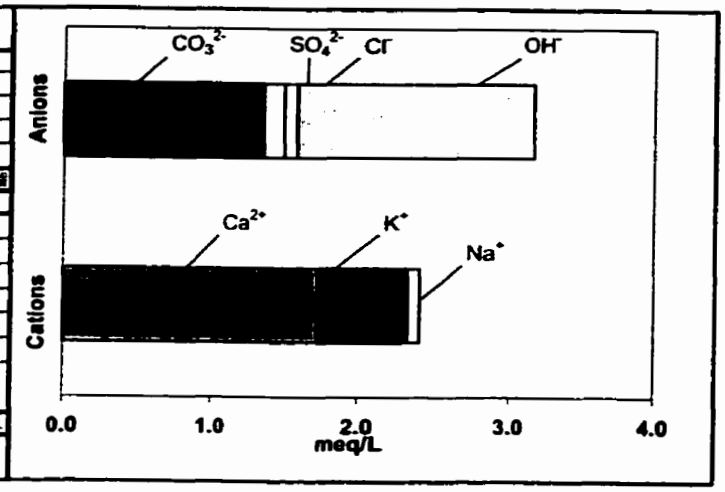
Erreur (%) : 44.2



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON D2-12

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	34.6	1.730
K^{+}	23.0	0.588
Mg^{2+}	0.020	0.002
Na^{+}	1.92	0.084
		2.403
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	68	1.360
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	3.0	0.085
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.004	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.20	1.585
		3.169

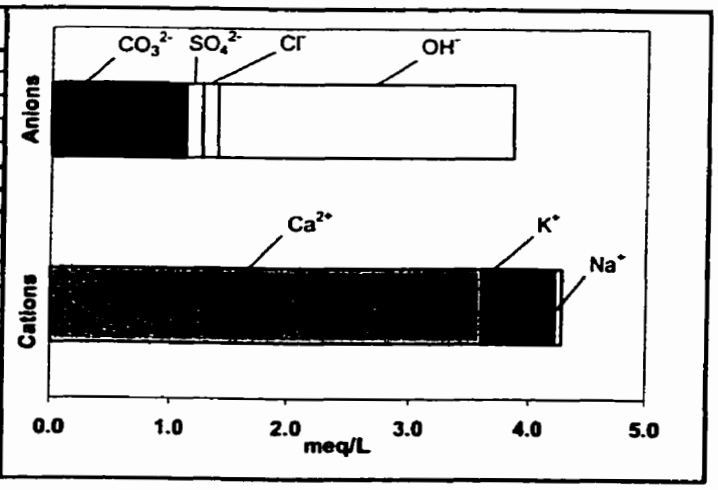
Erreur (%) : 13.7



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON D2-35

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	72.0	3.600
K^{+}	24.0	0.614
Mg^{2+}	0.080	0.007
Na^{+}	1.44	0.063
		4.283
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	0	0.000
CO_3^{2-}	56	1.120
SO_4^{2-}	6.68	0.139
Cl^-	4.8	0.135
$H_2PO_4^-$	0.000	0.000
HPO_4^{2-}	0.008	0.000
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	11.39	2.455
		3.849

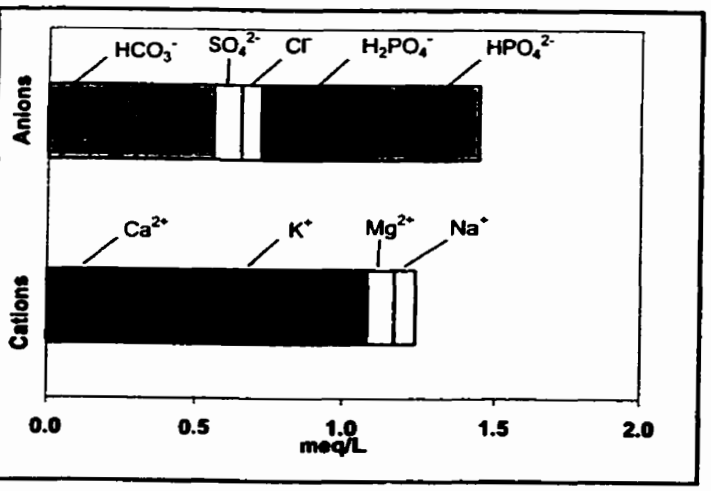
Erreur (%) : 5.3



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON F1-6

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	10.6	0.530
K^{+}	21.3	0.545
Mg^{2+}	1.080	0.089
Na^{+}	1.65	0.072
		1.235
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	34	0.557
CO_3^{2-}	0	0.000
SO_4^{2-}	4.63	0.096
Cl^-	2.5	0.071
$H_2PO_4^-$	32.720	0.337
HPO_4^{2-}	18.311	0.381
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	6.96	0.000
		1.443

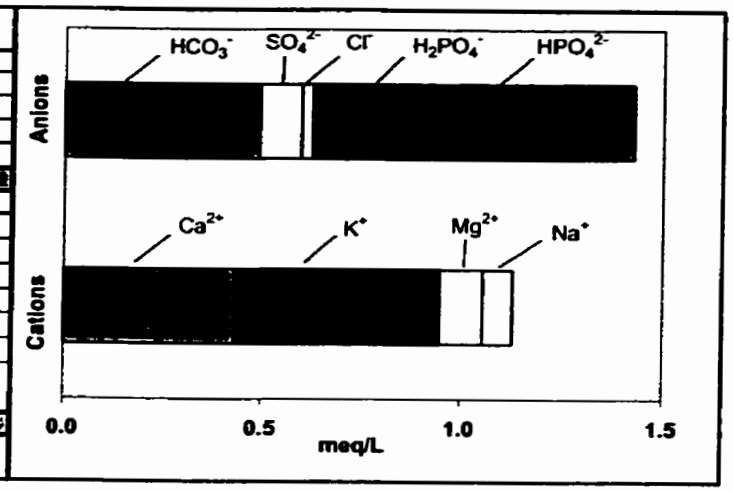
Erreur (%) : 7.8



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON F1-12

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	8.70	0.435
K^{+}	20.0	0.512
Mg^{2+}	1.34	0.110
Na^{+}	1.70	0.074
		[redacted]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	30	0.492
CO_3^{2-}	0	0.000
SO_4^{2-}	4.97	0.103
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	36.994	0.381
HPO_4^{2-}	20.231	0.421
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	6.95	0.000
		[redacted]

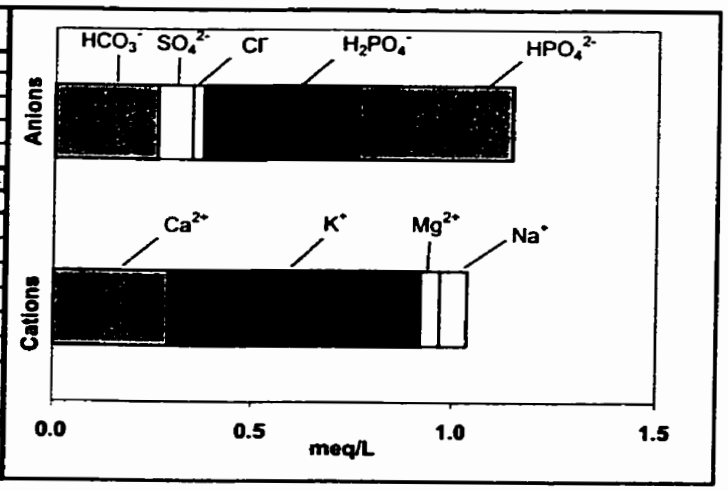
Erreur (%) : [redacted]



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON F1-35

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	5.87	0.294
K^{+}	24.5	0.627
Mg^{2+}	0.58	0.048
Na^{+}	1.57	0.068
		[redacted]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	16	0.262
CO_3^{2-}	0	0.000
SO_4^{2-}	4.25	0.088
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	36.592	0.377
HPO_4^{2-}	18.675	0.389
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	6.92	0.000
		[redacted]

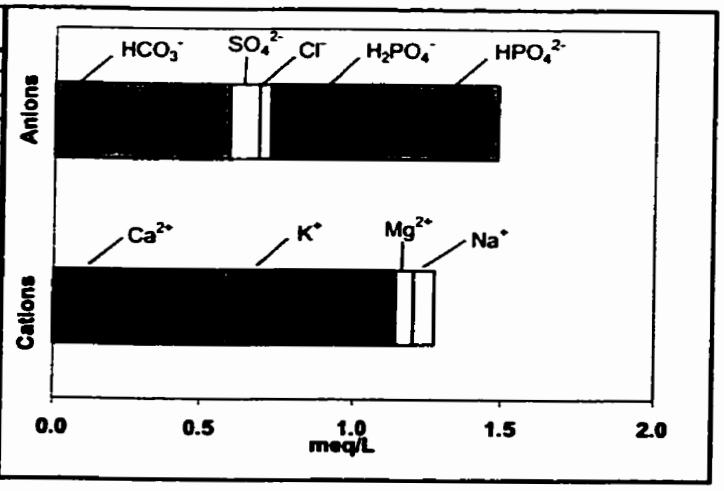
Erreur (%) : [redacted]



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON F2-6

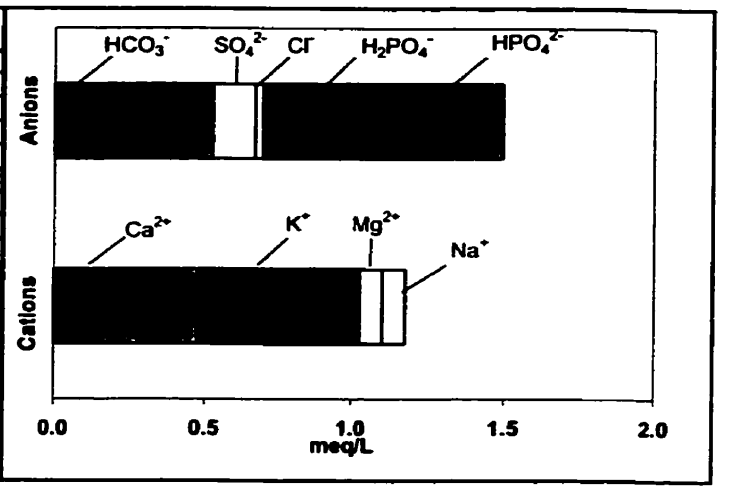
Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	11.9	0.595
K^{+}	21.5	0.550
Mg^{2+}	0.73	0.060
Na^{+}	1.60	0.070
		[redacted]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	36	0.590
CO_3^{2-}	0	0.000
SO_4^{2-}	4.63	0.096
Cl^-	1.3	0.037
$H_2PO_4^-$	28.768	0.297
HPO_4^{2-}	22.223	0.463
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	7.10	0.000
		[redacted]

Erreur (%) : [redacted]



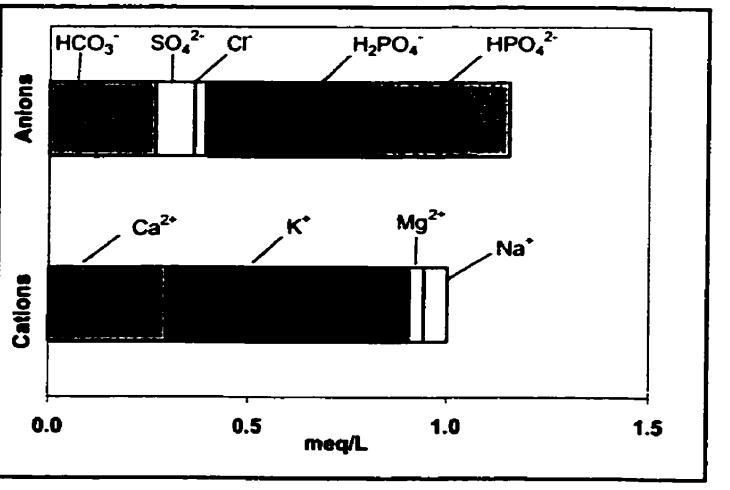
BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON F2-12

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	9.52	0.476
K^{+}	21.6	0.552
Mg^{2+}	0.94	0.077
Na^{+}	1.72	0.075
		[illegible]
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	32	0.525
CO_3^{2-}	0	0.000
SO_4^{2-}	7.04	0.147
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	35.268	0.364
HPO_4^{2-}	20.667	0.431
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	6.98	0.000
		1.494
Erreur (%) :		1.7



BILAN IONIQUE
ÉCHANTILLON F2-35

Cations	mg/L	meq/L
Ca^{2+}	5.87	0.294
K^{+}	24.0	0.614
Mg^{2+}	0.450	0.037
Na^{+}	1.31	0.057
		1.001
Anions	**mg/L**	**meq/L**
HCO_3^-	16	0.262
CO_3^{2-}	0	0.000
SO_4^{2-}	4.67	0.097
Cl^-	< 1	< 0.028
$H_2PO_4^-$	37.653	0.388
HPO_4^{2-}	17.935	0.374
PO_4^{3-}	0.000	0.000
OH^-	6.89	0.000
		1.150
Erreur (%) :		6.9



ANNEXE 8 - CONCEPTION PRÉLIMINAIRE DE LITS DE SCORIES D'ACIER

Conception préliminaire de lits absorbant le phosphore pour le traitement des eaux de lavages d'un microtamis

Propriétés physiques des scories d'acier	Symbole	Valeur	Unités	Notes
Densiré relative des grains	Dr	3.784		
Porosité	n	45	%	
Indice des vides	e	0.82		
masse volumique sèche		2.083	$t.m/m^3$	
Conductivité hydraulique	k	0.01	m/s	*Valeur obtenue d'un essai de perméabilité*
Performance du microtamis				
Débit de l'effluent d'une pisciculture	Q_o	10000	m^3/d	
Concentration P de l'effluent piscicole	C_o	0.3	mg P/L	
Pt de l'effluent piscicole		3	kg P/d	
Efficacité de capture du Pt		50	%	
Pt retenu par le microtamis		1.5	kg P/d	
% débit d'eau de lavage/Q_o		5	%	
Débit d'eau de lavage	Q	500	m^3/d	
Concentration P de l'eau de lavage	C	3.0		
Dimensionnement des lits				*Les dimensions des lits sont basées sur le temps de rétention hydraulique de 24 h*
Volume de pores des lits		500	m^3	
Volume des lits		1111	m^3	
Hauteur des lits*		2	m	*La hauteur et la largeur des lits ont été choisies arbitrairement*
Largeur des lits*		20	m	
Longueur des lits		28	m	
Masse de scories requise		2315	t.m.	
Volume de scories requis		1111	m^3	
volume d'un camion		10	m^3/cam	
Nombre de camions		111		
Calcul du gradient				
Gradient (i = Q/(k*A))	i	0.014		*L'aire utilisée dans le calcul du gradient est celle de la section transversale à l'écoulement, soit la hauteur x largeur des lits*
Différence de charge	Δh	0.40	m	

Calcul de la performance du système à partir des essais en colonnes

Première série d'essais (C_o = 20 mg P/L)		
Masse de P ajoutée en colonne	0.46	g P/kg de scories
Masse de P enlevée en colonne	0.46	g P/kg de scories
Masse de P ajoutée sur le terrain	1065	kg P
Masse de P enlevée sur le terrain	1065	kg P
Performance du système	100	%
Âge du système	1.9	ans

Première série (C_o = 20 mg P/L) + deuxième série d'essais (C_o = 400 mg P/L)		
Masse de P ajoutée en colonne	2.41	g P/kg de scories
Masse de P enlevée en colonne	2.33	g P/kg de scories
Masse de P ajoutée sur le terrain	5578	kg P
Masse de P enlevée sur le terrain	5393	kg P
Performance du système	97	%
Âge du système	10.2	ans