

**Record Number:**  
**Author, Monographic:** Couillard, D.//Mercier, G.//Chartier, M.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Solubilisation biologique des métaux dans les boues digérées aérobies : application du procédé à des boues déphosphatées à l'alun ou au chlorure ferrique

**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1990  
**Original Publication Date:** Janvier 1990  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** vi, 63  
**Packaging Method:** pages incluant 6 annexes  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 293  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-290-4  
**Notes:** Rapport annuel 1989-1990  
**Abstract:** Rapport trimestriel III (version modifiée). Rapport rédigé pour le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB), le Centre Saint-Laurent (CSL), le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) et la Société québécoise d'assainissement des eaux (SQAE)  
10.00\$

**Call Number:** R000293  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

PROGRAMME DE RECHERCHE TR-86 0047

Solubilisation biologique des métaux dans  
les boues digérées aérobies: application  
du procédé à des boues déphosphatées à  
l'alun ou au chlorure ferrique

Rapport Trimestriel III

(1er novembre 1989 - 31 janvier 1990)

(version modifiée, mars 1990)

présenté au CQVB, CSL, MENVIQ et à la SQAE

par

D. Couillard

G. Mercier

M. Chartier

INRS-Eau (Université du Québec)

2700, rue Einstein - C.P. 7500

Sainte-Foy, Québec

G1V 4C7

INRS-Eau, rapport scientifique No 293

Janvier 1990

## Remerciement

Les auteurs adressent leurs remerciements au Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (subvention CRSNG OGP0003711), au ministère de l'Éducation du Québec (subvention 89-EQ-3029) et au programme de développements académiques du réseau de l'Université du Québec qui ont financé une partie des dépenses reliées au projet. L'autre partie des dépenses a été supportée par le Centre Québécois de Valorisation de la Biomasse (CQVB), le Centre Saint-Laurent (Environnement Canada) (CSL), le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) et la Société Québécoise d'Assainissement des Eaux (SQAE).

Les auteurs adressent aussi leurs remerciements à R.D. Tyagi (professeur à l'INRS-Eau) pour son apport scientifique au début du projet. Aussi, les auteurs remercient F. Fournier (technicien-assainissement) pour son apport technique au laboratoire.

## Résumé

La solubilisation biologique des métaux dans des réacteurs en continu avec 1,5 jours de temps de résidence hydraulique, est étudiée pour des boues ayant subi un traitement de déphosphatation au  $\text{FeCl}_3$  et à l'alun. Les pourcentages de solubilisation obtenus à 1,5 jours avec les boues déphosphatées au  $\text{FeCl}_3$  sont de 54%, 77% et 94% pour le Cu, Zn et Mn. Ces rendements sont supérieurs à ceux obtenus à 0,75 jour avec le même type de boue. Dans le cas des boues traitées à l'alun, les pourcentages de solubilisation atteints sont de 39%, 68% et 94%, pour Cu, Zn, Mn. Soit des valeurs plus faibles que celles obtenues avec les boues déphosphatées au  $\text{FeCl}_3$ .

La spéciation\* des métaux ainsi que leur concentration dans les boues, l'état de digestion de ces boues et la température à laquelle la réaction de solubilisation se déroule, sont les hypothèses avancées pour expliquer les plus faibles rendements de solubilisation obtenus, comparativement aux boues anaérobies.

Les bilans effectués à 0,5 et 0,75 jours démontrent dans le cas où la concentration avant traitement des métaux est assez élevée, peu de reprécipitation des métaux lors de la filtration.

Les boues ayant subi le procédé sont plus faciles à filtrer que celles n'ayant subi aucun procédé. Lorsque les conditions du réacteur sont bonnes, il n'est pas nécessaire d'ajouter du polymère.

\* Spéciation: forme sous laquelle se présente les métaux

Il y a peu de variation dans la quantité d'azote total avant et après traitement. L'ammoniac et les nitrates-nitrites sont perdus en grande partie dans le filtrat dû à leur haute solubilité. Il est cependant à remarquer que la déshydratation de boues digérées non traitées comporte le même phénomène. Enfin, le procédé de solubilisation amène peu de changement dans les formes et les quantités de phosphore contenues dans les boues.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
1.1 Introduction .....	1
1.2 Matériel et méthode .....	3
1.2.1 Montage expérimental .....	3
1.2.2 Souche bactérienne et boues utilisées .....	3
1.2.3 Mesures et échantillonnage .....	6
1.2.4 Essais de filtrabilité .....	7
1.3 Résultats et discussion .....	8
1.3.1 Solubilisation des métaux dans les boues de Cowansville ..	8
1.3.2 Bilan des métaux à 0,5 et 0,75 jours sur les boues de Cowansville .....	10
1.3.3 Filtrabilité des boues aérobies de Cowansville .....	15
1.3.4 Solubilisation des métaux dans les boues traitées à l'alun, de Beauceville .....	17
1.3.5 Devenir de l'azote dans les boues de Cowansville .....	21
1.3.6 Devenir du phosphore dans les boues de Cowansville .....	25
1.4 Conclusion .....	26
Objectifs trimestriels prévus et atteints .....	27
Références .....	28

Annexes

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1: Essais effectués, jusqu'à maintenant, pour le projet sur les boues aérobies .....	2
Tableau 1.2: Caractéristiques des boues de l'alimentation de Cowansville et Beauceville utilisées pour le temps de séjour de 1,5 jours .....	5
Tableau 1.3: Pourcentage de solubilisation du Fe, Al, Ni, Cd, Pb et Cr atteint à 0,5, 0,75 et 1,5 jours dans le CSTR, avec les boues digérées aérobies de Cowansville .....	11
Tableau 1.4: Pourcentage de solubilisation du Fe, Al, Ni, Cd, Pb, et Cr atteint à 1,5 jours, dans le CSTR, avec les boues digérées aérobies de Beauceville .....	20
Tableau 1.5: Effet du procédé de solubilisation sur la quantité des différentes formes d'azote contenues dans les boues d'alimentation non filtrées et les boues après traitement et filtration de Cowansville .....	22
Tableau 1.6: Effet du procédé de solubilisation sur la quantité de phosphore total et hydrolysable contenue dans les boues d'alimentation et les boues traitées et filtrées de Cowansville .....	24

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1: Schéma expérimental suivi .....	4
Figure 1.2: Solubilisation du Cu, Zn et Mn dans le CSTR à 1,5 jours dans les boues aérobies de Cowansville .....	9
Figure 1.3: Bilan des métaux effectué à 0,75 jour dans le CSTR sur les boues de Cowansville .....	12
Figure 1.4: Bilan des métaux effectué à 0,5 jour dans le CSTR sur les boues de Cowansville .....	13
Figure 1.5: Coefficients de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ) trouvés en fonction de la quantité de polymère ajoutée à différents temps de séjour avec les boues de Cowansville .....	16
Figure 1.6: Solubilisation du Cu, Zn et Mn dans le CSTR, à 1,5 jours dans les boues aérobies de Beauceville .....	18

## 1.1 Introduction

Ce rapport est le troisième volet d'une série de rapports sur la solubilisation biologique des métaux dans les boues digérées aérobies. Le premier rapport traitait de différents essais de digestion en fournée et de solubilisation des métaux sur des boues de la station de Ville de Deux-Montagnes digérées en laboratoire (INRS-Eau, 1989a).

Le second rapport comportait deux chapitres (INRS-Eau, 1989b). Le premier chapitre traitait d'essais dans un bio-réacteur à ascension pneumatique (BAP) et en cuvée de 1,5L, avec les boues aérobies de la Haute-Bécancour. Dans le second chapitre, ce sont les essais faits en continu dans un réacteur aéré et agité (CSTR) qui ont été abordés. Ces essais ont été accomplis à 0,5 et 0,75 jours de temps de résidence hydraulique, avec les boues aérobies de l'usine de Cowansville. Ces boues ont subi une déphosphatation au  $\text{FeCl}_3$  à la fin du traitement secondaire.

Le présent rapport complète l'étude de la solubilisation biologique dans un réacteur en continu des boues de Cowansville avec 1,5 jours de temps de séjour. Le devenir des éléments nutritifs de ces boues, pour les trois temps de séjour, i.e. leur contenu en azote et phosphore, est examiné. De même des essais de filtrabilité sur les boues de Cowansville aux différents temps de séjour ont été accomplis. Enfin, dans le cadre de l'étude de l'influence des traitements de déphosphatation sur le procédé (voir modification au plan de travail, rapport trimestriel 1), les résultats de solubilisation des métaux dans les boues ayant subi un traitement à l'alun sont présentés (boues de Beauceville). Ceux-ci proviennent d'essais effectués en réacteur aéré et agité (CSTR) à 1,5 jours de temps de séjour. Le tableau 1.1 résume les différents essais faits jusqu'à présent.

Tableau 1.1: Essais effectués, jusqu'à maintenant, pour le projet sur les boues aérobies.

Provenance des boues	Type de boue	Type d'essais	Rapport
Ville de deux Montagnes	Secondaire	Cuvée en béciers de 1,5 L après digestion en laboratoire	Trimestriel I
Haute Bécancour	Digérée aérobie; sans déphosphatation	Bioréacteur à ascension pneumatique de 30L (BAP) et essais en cuvée de 1,5L	Trimestriel II (chapitre 1)
Cowansville	Stockage aérobie de boues biologiques ayant subi une déphosphatation au $FeCl_3$	Réacteur continu (30L) avec recyclage (CSTR) à $\bar{t} = 0,50$ et 0,75 jour	Trimestriel II (chapitre 2)
		Réacteur continu (30L) avec recyclage (CSTR) à $\bar{t} = 1,5$ jours	Trimestriel III
Beauceville	Stockage aérobie de boues biologiques ayant subi une déphosphatation à l'alun	Réacteur continu (30L) avec recyclage (CSTR) à $\bar{t} = 1,5$ jours	Trimestriel III

## 1.2 Matériel et méthode

### 1.2.1 Montage expérimental

Les expériences de solubilisation biologique dans les boues aérobies de Cowansville et de Beauceville ont été effectuées à 1,5 jours de temps de séjour dans des réacteurs aérés et agités. La figure 1.1 illustre le schéma expérimental suivi. Le volume des réacteurs est de 30L et l'aération à 0,5 VVM. Les boues de l'alimentation sont aérées et acidifiées à pH=4,0 avec du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% v/v. Un chroncontrol programmable assure le transfert des boues avec des pompes péristaltiques entre les différents compartiments des réacteurs. Le taux de recyclage est de 20%. Un substrat, le FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (provenant de Sidbec Dosco) est ajouté dans le réacteur à une concentration de 4 g/L. La boue est décantée durant 45 minutes dans un entonnoir après traitement. La partie recyclée est alors pompée vers le réacteur et l'autre partie vidangée. C'est cette dernière, lors du procédé, qui subira une séparation solide-liquide.

### 1.2.2 Souche bactérienne et boues utilisées

Les boues utilisées, après une déphosphatation au FeCl<sub>3</sub>, dans le cas des boues de Cowansville, et à l'alun dans le cas des boues de Beauceville, sont entreposées à 4°C puis réaérées avant utilisation afin de maintenir un potentiel d'oxydo-réduction d'environ + 300 ± 100 mV dans l'alimentation. Les caractéristiques des deux types de boues utilisées sont indiquées au tableau 1.2.

La souche bactérienne a été acclimatée à la croissance sur des boues aérobies. De plus, dans le cas de l'inoculum utilisé avec les boues de Beauceville, de l'alun avait été ajouté régulièrement lors de l'acclimatation des bactéries.

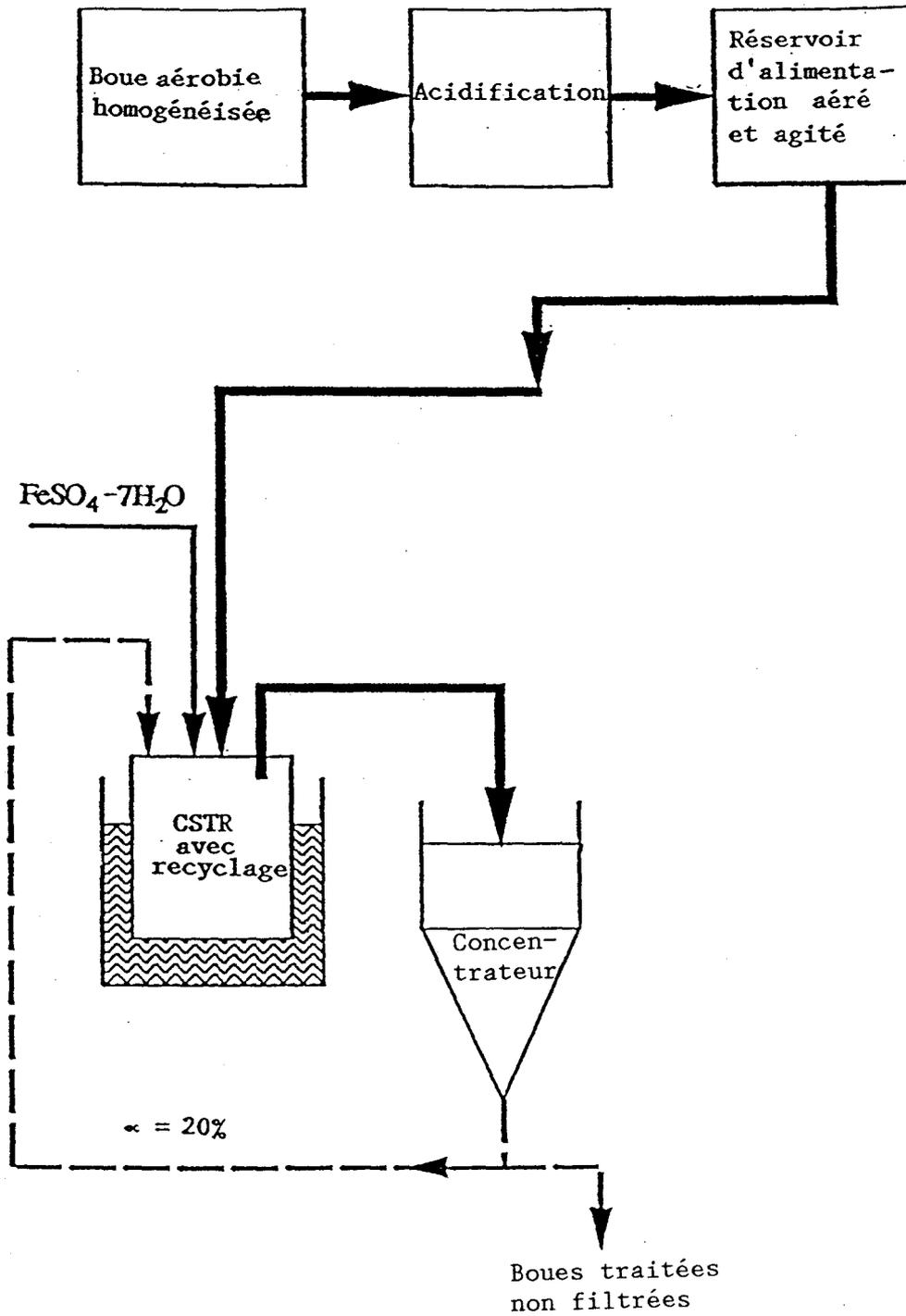


Figure 1.1: Schéma expérimental suivi.

Tableau 1.2: Caractéristiques des boues de l'alimentation de Cowansville et Beauceville utilisées pour le temps de séjour de 1,5 jours.

Provenance des boues	Solides totaux moyens (%)	Cu	Zn	Mn	(mg kg <sup>-1</sup> boue sèche)						
					Al	Fe	Cr	Pb	Cd	Ni	
Cowansville	2,05	1 429	465	1 265	20 200	45 570	94	67	1,3	25	
Beauceville	2,15	257	410	2 079	40 600	18 818	66	59	3,1	33	

### 1.2.3 Mesures et échantillonnage

Les mesures de pH et de PDR sont prises deux fois par jour avec un pH mètre Fisher Acumet, modèle 805 MP. Le pH mètre est étalonné quotidiennement à pH 2 et 4 ou 4 et 7 selon les besoins. Et la lecture de l'électrode de PDR est régulièrement corrigée à l'aide de l'étalonnage à la quinhydrone Ektachrome Kodak 217 à pH 4 et 7. La concentration en oxygène est mesurée quotidiennement à l'aide d'un oxymètre de Yellow Spring Instruments (YSI) modèle 54.

Des échantillons de boues provenant de l'alimentation et du réacteur sont prélevés deux fois par jour pour l'analyse des métaux. Ces échantillons sont centrifugés à 12 000 rpm pendant 10 minutes à l'aide d'une centrifugeuse Sorvall Superspeed RC 2-B. Le surnageant de la centrifugation (20 mL) est acidifié avec 1 mL de  $\text{HNO}_3$  concentré puis entreposé à 4°C jusqu'à l'analyse des métaux. Les métaux lourds (Cu, Zn, Mn, Ni, Cd, Pb, Cr, Al, Fe) sont analysés sur un spectrophotomètre d'absorption atomique Varian à la flamme modèle Spectr AA-20. Les métaux totaux dans les boues sont déterminés après avoir digéré 10 mL de boue avec 20 mL de  $\text{HNO}_3$ , 10 mL  $\text{HClO}_4$  et 10 mL HF. Toutes les analyses sont faites selon les directives de l'APHA (1985). Les solides totaux et volatils sont déterminés de façon quotidienne selon les directives de l'APHA (1985) également.

L'azote total (NTK) est mesuré après avoir effectué une digestion Kjeldahl de l'échantillon alors que l'azote ammoniacal et les nitrates-nitrites sont dosés après avoir été séparés de l'échantillon par un entraînement à la vapeur sur un appareil Kjelttec. Les nitrates-nitrites sont entraînés à la vapeur après leur réduction avec le réactif Devarda. L'azote total (NTK), ammoniacal, les

nitrate-nitrite et le phosphore total, sont déterminés à 0,5, 0,75 et 1,5 jours pour les boues de Cowansville par l'auto-analyseur Technicon sur les boues à l'entrée, le filtrat et les boues déshydratées obtenues lors de la filtration, selon la méthode décrite par l'APHA (1985). La détermination du phosphore hydrolysable se fait après une hydrolyse en milieu acide à chaud (EPA, 1979a). L'azote total est déterminé après digestion à l'acide sulfurique.

#### 1.2.4 Essais de filtrabilité

Des essais de filtrabilité ont été faits sur les boues de Cowansville (0,5, 0,75 et 1,5 jours) avec différentes doses de Percol 757 (polyacrylamide cationique) (Méthode no 806, Degremont, 1978). Ce test permet de trouver le coefficient de résistance spécifique à la filtration sous 0,5 atmosphère ( $r_{0,5}$ ).

$$r_{0,5} = \frac{2a PS^2}{\eta c} \text{ et } r \text{ est exprimé en m/kg.}$$

où  $a$  = pente de graphique ayant pour ordonnée,  $T_x/V_x - V_0$  ( $T$  = temps et  $V_x$  = volume au temps  $x$ ) et pour abscisse, le volume filtré ( $V_x$ ). L'unité de  $a$  est  $s/m^6$ .

$P$  = pression en Pascal ( $49 \times 10^3$ )

$S$  = surface du filtre en  $m^2$  ( $6,4 \times 10^{-3}$ )

$\eta$  = viscosité dynamique du filtrat ( $1,1 \times 10^{-3}$  Pa·s à 20°C)

$C$  = concentration en solides en  $kg/m^3$  (de 16,7 à 28,4)

### 1.3 Résultats et discussion

#### 1.3.1 Solubilisation des métaux dans les boues de Cowansville

Les résultats bruts concernant le temps de séjour de 1,5 jours dans les boues de Cowansville sont présentés aux annexes 1. Tandis que les résultats ayant servi aux calculs des bilans sont présentés aux annexes 2.

La figure 1.2 illustre la solubilisation du Cu, du Zn et du Mn dans la partie supérieure à  $\bar{t}=1,5$  jours pour les boues de Cowansville. Alors que la partie inférieure donne le pH et le POR correspondant.

#### Note au lecteur:

Il est important de garder à la mémoire que la figure 1.2 représente un système en continu qui est stabilisé sur une période égalant 3 fois le temps moyen de résidence hydraulique ( $3 \cdot \bar{t}$ ). Les valeurs moyennes des paramètres sont calculées des jours 5 à 9 après que la stabilité soit atteinte.

À l'examen de cette figure, il apparaît que les pourcentages de solubilisation atteints (avant séparation) à 1,5 jours, sont légèrement plus élevés qu'à 0,75 jour, surtout dans le cas du Zn et Mn. C'est-à-dire des valeurs moyennes de solubilisation pour le Cu, Zn et Mn de 54, 76,8 et 93,8% à 1,5 jours alors que ces valeurs étaient de 51,6, 62 et 77,5% à 0,75 jour (INRS-Eau, 1989b). Les valeurs de pH et de POR obtenues en moyenne à 1,5 jours, soit 2,70 et 503 mV indiquent des conditions propices à la solubilisation des métaux. En effet, avec les boues anaérobies (voir Couillard et al., 1988) dans ces mêmes

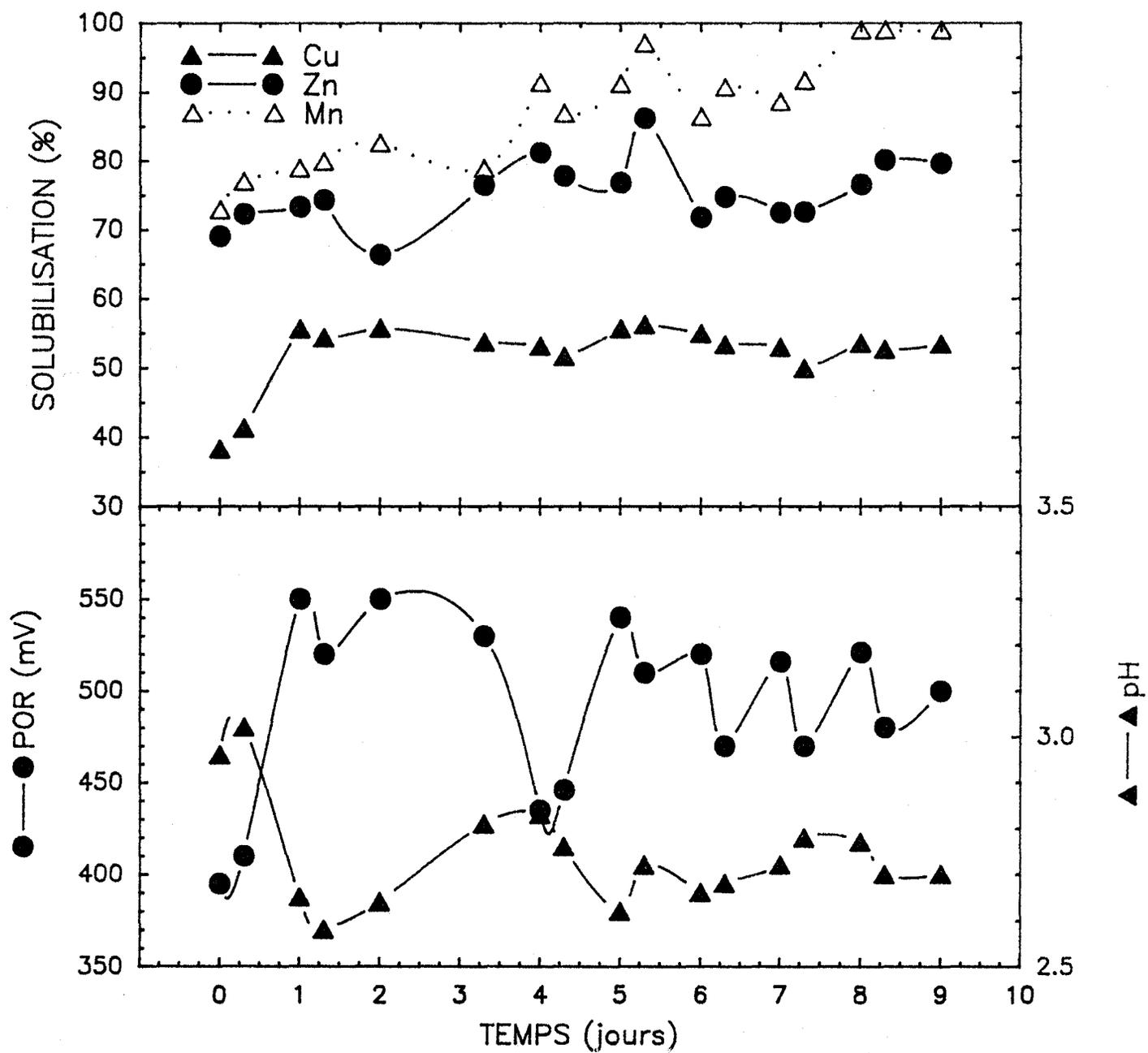


Figure 1.2: Solubilisation du Cu, Zn et Mn dans le CSTR à 1,5 jours dans les boues aérobies de Cowansville.

conditions, de plus hauts pourcentages de solubilisation avaient été atteints; soit 76,6% pour le Cu, 100% pour le Zn et 77% pour le Mn.

Tout semble donc prouver que les métaux sont moins disponibles pour les bactéries dans les boues de Cowansville. Ceci pourrait être dû à la spéciation particulière des métaux dans ce type de boues ou encore de l'état de digestion des boues. Ces boues n'ont pas subi une digestion aérobie complète. De plus, il est fort possible que le traitement de déphosphatation ait une influence en emprisonnant les métaux dans les précipités de phosphate par exemple.

Le tableau 1.3 donne les pourcentages de solubilisation atteints par les autres métaux (Fe, Al, Ni, Cd, Pb et Cr) dans les boues de Cowansville, à 0,5, 0,75 et 1,5 jours. Dans le cas du fer, la solubilisation diminue avec l'amélioration des conditions du réacteur. La solubilisation du Pb et du Cr est nulle, alors qu'il y a une légère augmentation de la solubilisation des métaux, Ni et Cd, avec l'augmentation du temps de séjour. Il est à noter toutefois, que les teneurs dans les boues des métaux Ni et Cd, sont très faibles. Ce qui augmente l'imprécision sur les valeurs de pourcentages trouvées.

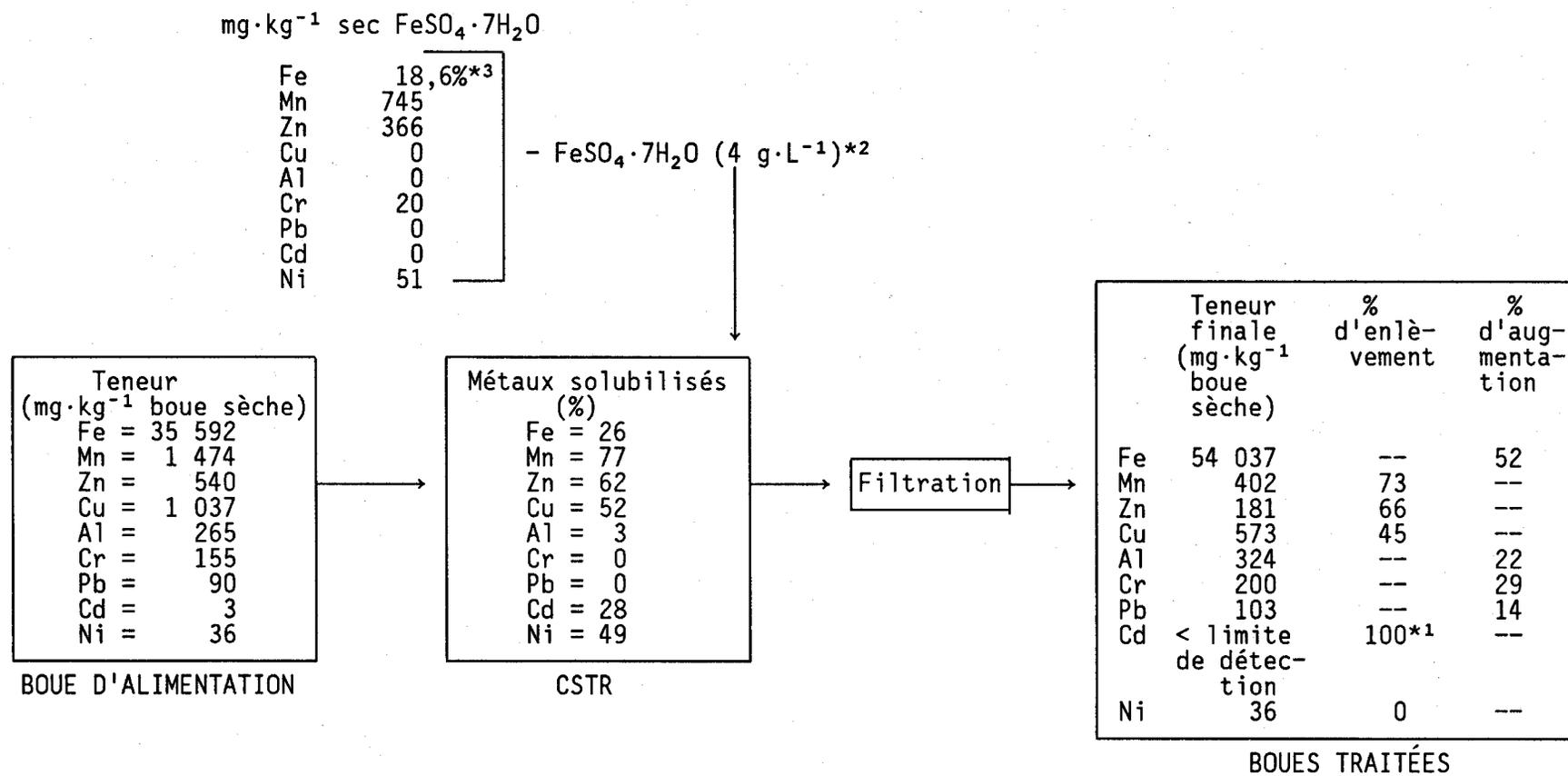
### 1.3.2 Bilan des métaux à 0,5 et 0,75 jours sur les boues de Cowansville

Les figures 1.3 et 1.4 illustrent l'enlèvement réel des métaux suite au procédé de solubilisation après une séparation par filtration.

D'après le bilan effectué à 0,75 jour (voir figure 1.3) à peu près tout le Cu, Zn et Mn solubilisés dans le réacteur sont enlevés lors de la filtration. Il

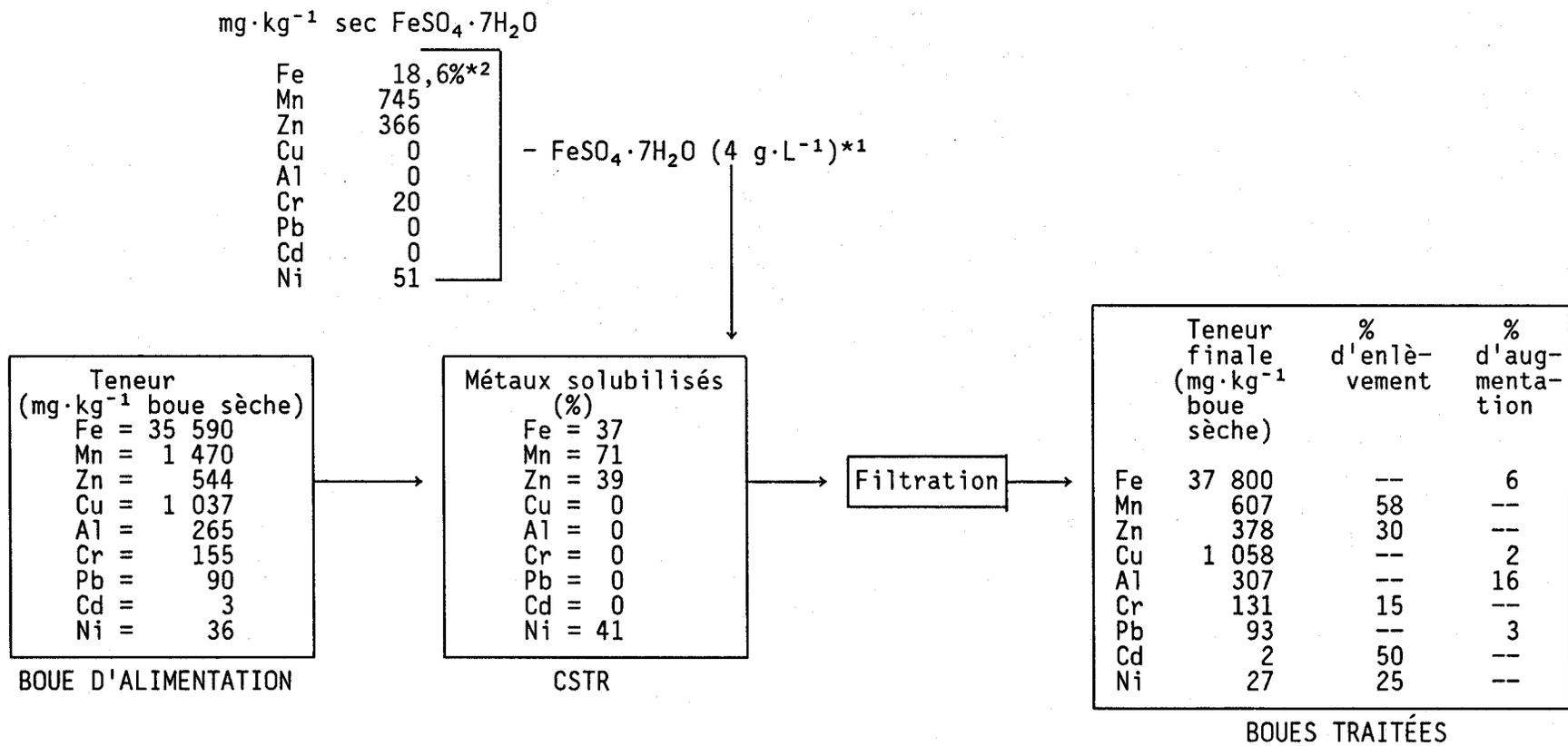
Tableau 1.3: Pourcentage de solubilisation du Fe, Al, Ni, Cd, Pb et Cr atteint à 0,5, 0,75 et 1,5 jours dans le CSTR, avec les boues digérées aérobies de Cowansville.

Métaux	Concentration dans les boues avant traitement (mg·kg <sup>-1</sup> boue sèche)	Temps de séjour (jour)		
		0,5 (%)	0,75 (%)	1,5 (%)
Fe	68 880	37,0	26,0	17
Al	13 590	0	3,2	0,6
Ni	35	41,0	49,1	53
Cd	1,6	0	28,3	57
Pb	58	0	0	0
Cr	86	0	0	0



- \*1 = la teneur est très faible
- \*2 = le substrat amène 2,98 mg Mn L<sup>-1</sup>, 1,46 mg Zn L<sup>-1</sup> et 0,20 mg Ni·L<sup>-1</sup> et 800 mg Fe·L<sup>-1</sup> de boue en traitement.
- \*3 = le fer est en % car il s'agit du substrat.

Figure 1.3: Bilan des métaux effectué à 0,75 jour dans le CSTR sur les boues de Cowansville.



\*1 = le substrat amène 759 mg Fe L<sup>-1</sup>, 2,98 mg Mn L<sup>-1</sup>, 1,45 mg Zn L<sup>-1</sup> et 0,20 mg Ni · L<sup>-1</sup>  
 \*2 = le fer est en % car il s'agit du substrat.

Figure 1.4: Bilan des métaux effectué à 0,5 jour dans le CSTR sur les boues de Cowansville.

n'y aurait donc pas de reprécipitation de ces éléments lors de la filtration. Le Fe pour sa part a un comportement différent. En effet, la quantité de Fe soluble retrouvée dans le réacteur aurait dû être plus élevée, étant donné les 950 mg/L solubles, ajoutés avec le substrat (le  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  contient 18,6% de Fe). Donc, en plus du Fe contenu dans les boues sous forme non soluble, une certaine partie du fer ajouté précipiterait également. Ainsi, la teneur finale des boues en fer est augmentée de 52% dû au fer amené par le substrat qui précipite dans les boues.

L'aluminium, le chrome et le plomb restent accrochés aux boues. La teneur en cadmium des boues est trop faible pour qu'il soit possible de prévoir le comportement de cet élément lors de la filtration.

Enfin, le nickel semble enlevé lors de la filtration, malgré que sa concentration originale soit un peu faible pour prévoir de façon précise son comportement. Donc, de façon générale, tout comme il avait été démontré avec les boues anaérobies (Couillard et al., 1988), la filtration n'amène pas la reprécipitation des éléments solubilisés dans le réacteur. Le bilan effectué à 0,5 jour (voir figure 1.4) démontre bien le mauvais fonctionnement du réacteur à ce temps de séjour. Peu d'éléments sont solubilisés, mis à part le Fe, Mn, Zn et Ni. Et dans le cas du Ni, la concentration examinée est tellement faible (36 mg/kg sec) qu'il est difficile de conclure quoi que ce soit. Le Mn et le Zn solubilisés en faibles quantités reprécipitent légèrement lors de la filtration. Et la teneur en fer de la boue traitée se trouve augmentée tout comme à 0,75 jour, dû au fer qui reprécipite. Toutefois, la quantité de fer reprécipitant à 0,5 jour dans les boues, est moins élevée qu'à 0,75 jour, i.e. 6% d'augmentation au lieu de 52%. Les conditions réductrices retrouvées à 0,5

jour favoriseraient la solubilisation du Fe et pas sa reprécipitation dans les boues.

### 1.3.3 Filtrabilité des boues aérobies de Cowansville

L'indice de filtrabilité d'une boue est déterminé par le coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ) à la filtration. Celui-ci permet d'évaluer les caractéristiques d'une boue quant à sa facilité à subir la filtration de même que le type de technologie pouvant être employé pour les déshydrater. Les résultats bruts concernant la détermination des coefficients de résistance spécifique pour les boues de Cowansville sans polymère puis avec 1 et 3 kg de polymère Percol 757 par tonne de boues sèches, sont présentés aux annexes 3.

La figure 1.5 illustre la quantité de polymère ajoutée aux différents temps de séjour sur les boues de Cowansville. L'examen de cette figure démontre clairement que les boues ayant subi le procédé sont plus faciles à déshydrater que les boues naturelles. En effet, les  $r_{0,5}$  obtenus dans les cas des boues naturelles sont plus élevés que dans le cas des boues ayant subi le procédé aux différents temps de séjour. De même dans le cas des boues naturelles et lors du temps de séjour de 0,5 jour, l'augmentation de la dose de polymère facilite la déshydratation. Et plus les boues sont difficiles à déshydrater, plus cet effet est marqué. Tout comme il avait été trouvé dans le cas des boues anaérobies (Couillard et al., 1988), il semble qu'une détérioration des conditions dans le réacteur, par exemple au temps de séjour de 0,5 par rapport à 0,75 et 1,5 jours, augmente le coefficient de résistance spécifique des boues.

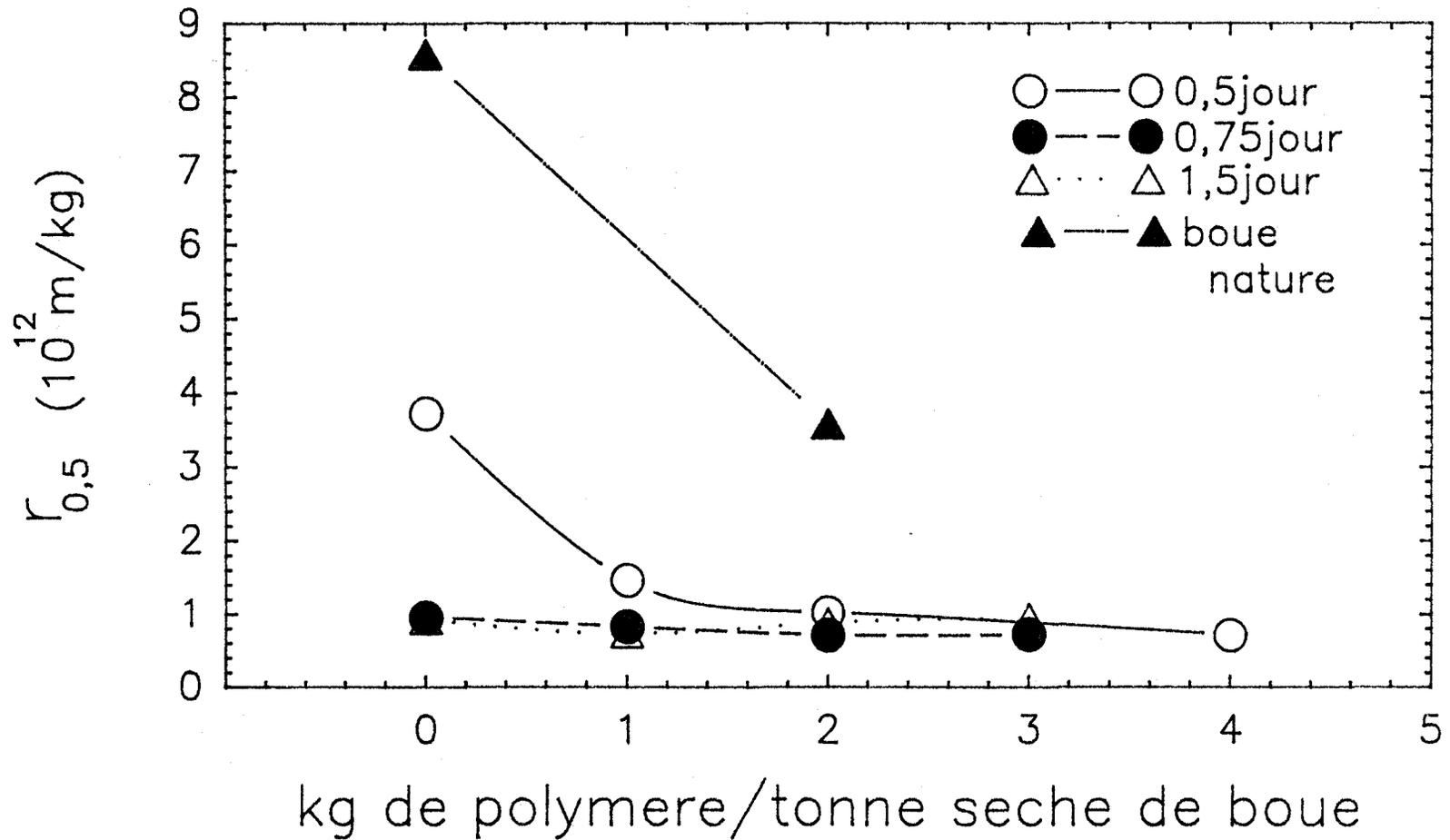


Figure 1.5: Coefficients de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ) trouvés en fonction de la quantité de polymère ajoutée à différents temps de séjour avec les boues de Cowansville.

Donc, en conclusion, les résultats obtenus pour l'indice de filtrabilité des boues aérobies sont les mêmes que pour les boues anaérobies. Les boues ayant subi le procédé sont plus facile à déshydrater que les boues n'ayant subi aucun procédé. Il n'est pas nécessaire d'ajouter de polymère pour aider à la séparation, lorsque les conditions dans le réacteur sont bonnes. C'est-à-dire les mêmes conditions permettant la solubilisation des métaux. Et avec les boues aérobies, les coefficients de résistance spécifique obtenus et inférieurs à  $8 \times 10^{12}$  m/kg, permettent l'utilisation d'un filtre-presse à plateaux ou d'une centrifugeuse pour la séparation solide-liquide des boues (Degrémont, 1978).

#### 1.3.4 Solubilisation des métaux dans les boues traitées à l'alun, de Beauceville

Les résultats bruts concernant le temps de séjour de 1,5 jours dans les boues de Beauceville sont présentés aux annexes 4. La figure 1.6 illustre pour ce temps de séjour, la solubilisation du Cu, Zn et Mn dans la partie supérieure, alors que le pH et le POR sont présentés dans la partie inférieure.

##### Note au lecteur:

La figure 1.6 illustre le fonctionnement d'un système en continu (CSTR) qui est en régime transitoire pour les 3 premiers temps de séjour ( $3 \times 1.5 = 4.5$ ). Les valeurs moyennes sont donc calculées pour la période des jours 5 à 9 qui est considérée stable.

Les valeurs moyennes de POR obtenues avec les boues déphosphatées à l'alun (Beauceville) sont semblables à celles des boues déphosphatées au  $\text{FeCl}_3$  (Cowansville); soit 503 mV versus 500 mV. Par contre, le pH moyen avec les

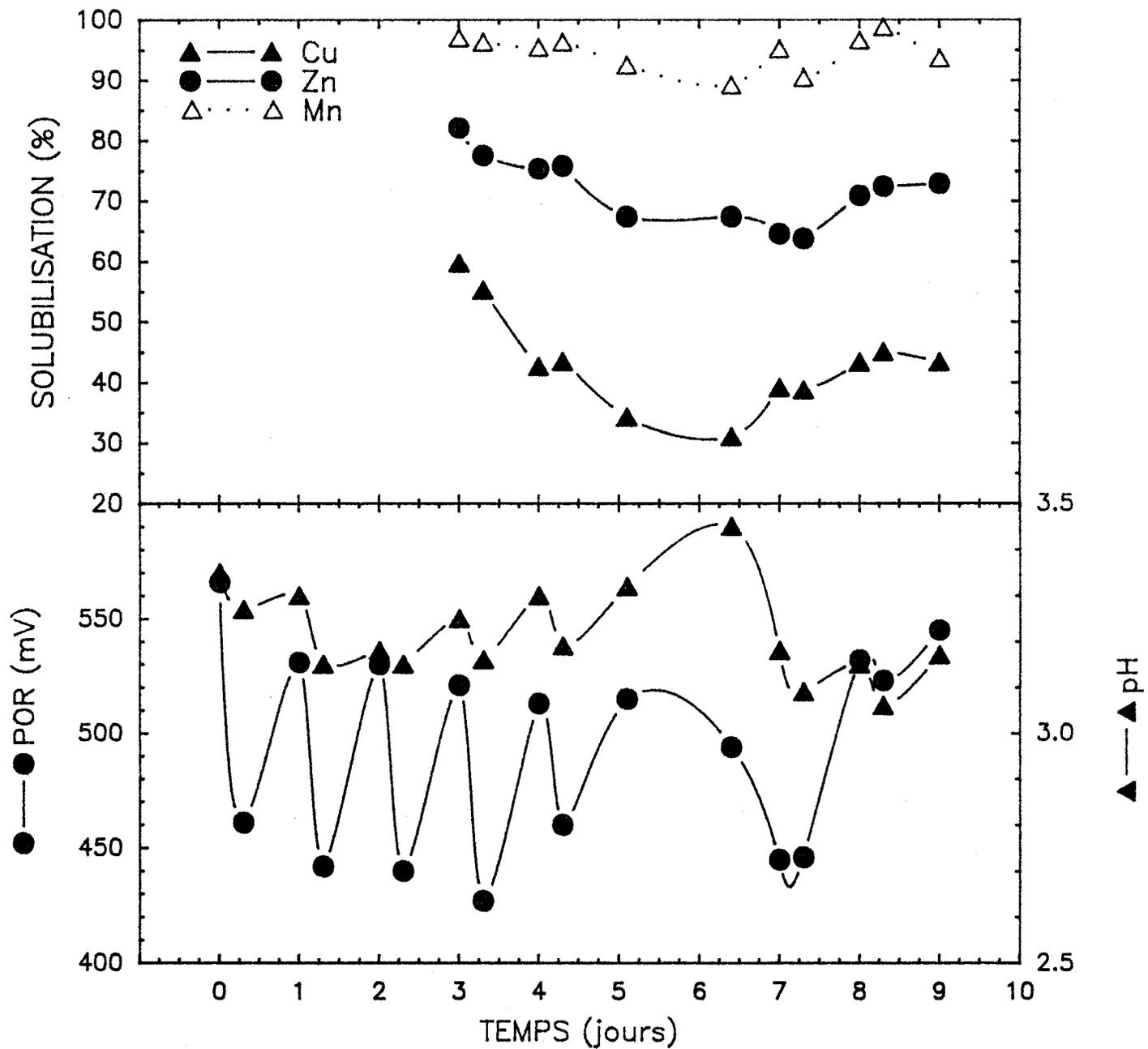


Figure 1.6: Solubilisation du Cu, Zn et Mn dans le CSTR, à 1,5 jours dans les boues aérobiees de Beauceville.

boues à l'alun est plus élevé; soit 3,20 par rapport à 2,70 obtenu avec les boues traitées au  $\text{FeCl}_3$ . Les pourcentages moyens de solubilisation atteints pour le Cu, Zn et Mn sont de 39, 68 et 94%. Pour le Zn et surtout le Cu, ces valeurs sont plus faibles que celles atteintes avec le même temps de séjour avec les boues traitées au  $\text{FeCl}_3$  (voir section 1.3.1). Ce moins bon rendement pourrait s'expliquer en partie par les valeurs trop élevées de pH. Il semble, en effet, que les bactéries n'aient pas réussi à abaisser le pH à des valeurs assez basses pour permettre une forte solubilisation du Cu. La spéciation particulière des métaux et la plus faible concentration en fer dans ce type de boues, pourraient expliquer ces plus hautes valeurs de pH. Enfin, tout comme dans le cas des boues de Cowansville, l'état de digestion des boues et le traitement de déphosphatation peuvent justifier les plus faibles rendements obtenus. Il est cependant à noter que le cuivre et le zinc sont en faible concentration dans cette boue alors que le manganèse est présent à des concentrations ( $1\,954\text{ mg kg}^{-1}\text{ sec}$ ) supérieures aux normes obligatoires pour l'épandage agricole. Ce dernier est efficacement enlevé. Le fait que le cuivre ( $228\text{ mg kg}^{-1}\text{ sec}$ ) et le zinc ( $437\text{ mg kg}^{-1}\text{ sec}$ ) sont faiblement représentés peut avoir un effet négatif sur le pourcentage de solubilisation. Globalement, le procédé fonctionne bien sur les boues à l'alun pour abaisser la teneur en métaux de cette boue mais il aurait été intéressant que cette boue contienne plus de cuivre et de zinc.

Le tableau 1.4 présente les valeurs de solubilisation des autres métaux dans les boues de Beauceville. Le Ni, Cd, Pb et Cr sont faiblement présents. Le fer et l'aluminium sont fortement présents mais le procédé solubilise peu ces éléments. Le procédé ne semble donc pas apte à abaisser de façon importante la teneur en aluminium des boues à l'alun.

Tableau 1.4: Pourcentage de solubilisation du Fe, Al, Ni, Cd, Pb et Cr atteint à 1,5 jours, dans le CSTR, avec les boues digérées aérobies de Beauceville.

Métaux	Concentration dans les boues du réacteur (mg kg <sup>-1</sup> boue sèche)	Solubilisation (%)
Fe	43 366	3,5
Al	34 420	15,0
Ni	38	52,5
Cd	2,3	61,8
Pb	55	0
Cr	50	0

### 1.3.5 Devenir de l'azote dans les boues de Cowansville

Le devenir de l'azote suite à l'application du procédé a été suivi, pour les différents temps de séjour sur les boues de Cowansville. Les résultats obtenus sont indiqués au tableau 1.5 et les résultats bruts sont présentés aux annexes 5. À l'examen de ce tableau, il apparaît qu'il y a peu de variations dans la quantité d'azote total retrouvée dans les boues avant et après traitement. Le fait que les boues utilisées à 0,5 et 0,75 jour aient été prélevées en même temps, soit au cours de l'été peut expliquer la différence retrouvée dans la quantité d'azote qu'elles contiennent (34 600 mg/kg sèche en moyenne) par rapport à celle de 1,5 jours (23 500 mg/kg boue sèche). Ces dernières avaient, en effet, été prélevées au début de l'automne. Dans le cas de 0,5 et 0,75 jour, il y a un léger gain de 8 et 5% dans les boues après traitement alors qu'à 1,5 jours, il y a perte de 6%. La moyenne de ces variations peut être considérée comme non significative.

L'ammoniac, pour sa part, subit des pertes de 17 à 76% lors du traitement. Ces pertes peuvent, en partie, s'expliquer par la grande solubilité du  $N-NH_4^+$  qui se retrouve dans le filtrat. Dans l'application du procédé, il est prévu que le filtrat retourne en tête de station. Tout comme dans le cas de la déshydratation conventionnelle des boues aérobies. Ce retour en tête de station ( $\approx 100$  mg/L dans le filtrat) représentera une augmentation d'environ 1 mg/L dans les eaux usées à traiter. À remarquer que la perte d'ammoniac dans le filtrat n'a pas causé de perte notable d'azote total. Le rapport  $N-NH_4^+/NTK$  passe de 9% dans les boues avant traitement à 4% en moyenne dans les boues

Tableau 1.5: Effet du procédé de solubilisation sur la quantité des différentes formes d'azote contenues dans les boues d'alimentation non filtrées et les boues après traitement et filtration de Cowansville.

Temps de séjour (jour)		AVANT (mg·kg <sup>-1</sup> boue sèche)	APRÈS (mg·kg <sup>-1</sup> boue sèche)	REMARQUE
0,5	NTK	34 800	37 400	- gain de 8% dans les boues traitées
	N-NH <sub>4</sub>	3 600	3 000	- perte de 17% dans les boues traitées
	N-NO <sub>3</sub> - NO <sub>2</sub>	290	44	- perte de 85% dans les boues traitées
	N <sub>organique</sub>	30 910	34 356	- gain de 11%
	N <sub>disponible</sub> * (an 1)	13 163	13 356	- gain de 1,5%
	N <sub>disponible</sub> total**	21 818	22 976	- gain de 5,3%
0,75	NTK	34 400	36 200	- gain de 5% dans les boues traitées
	N-NH <sub>4</sub>	3 400	900	- perte de 73% dans les boues traitées
	N-NO <sub>3</sub> - NO <sub>2</sub>	262	116	- perte de 56% dans les boues traitées
	N <sub>organique</sub>	30 738	35 184	- gain de 14%
	N <sub>disponible</sub> *	12 883	10 555	- perte de 18%
	N <sub>disponible</sub> total**	21 489	20 406	- perte de 5%
1,5	NTK	23 500	22 000	- perte de 6% dans les boues traitées
	N-NH <sub>4</sub>	1 700	400	- perte de 76% dans les boues traitées
	N-NO <sub>3</sub> - NO <sub>2</sub>	260	205	- perte de 27% dans les boues traitées
	N <sub>organique</sub>	21 540	21 395	- perte de 0,7%
	N <sub>disponible</sub> *	8 422	7 023	- perte de 17%
	N <sub>disponible</sub> total**	14 453	13 014	- perte 10%
Rapport moyen N-NH <sub>4</sub> /NTK (%)		9,0	4,0	
N-NO <sub>3</sub> + N-NO <sub>2</sub> /NTK (%)		0,87	0,38	

\* N<sub>disponible</sub>=(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>) + 0,30 (N<sub>organique</sub>) (selon Flynn et al., 1987)

\*\* N<sub>disponible</sub> total=(NH<sub>4</sub> + NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>) + 0,58 (N<sub>organique</sub>) (après 4 ans selon Flynn et al., 1987)

après traitement. Le rapport  $N-NH_4^+$ /NTK était passé de 24% dans les boues anaérobies non traitées à 10% après traitement (Couillard et al., 1988). La transformation d'ammoniac lors du traitement des boues aérobies est donc beaucoup moindre car celle-ci est en moins grande concentration dans ce type de boue.

Les nitrates-nitrites sont perdus de 21 à 85% dans les boues traitées. Cette perte est facilement explicable par la grande solubilité de ces éléments qui se retrouvent donc dans le filtrat. Les nitrates et nitrites subiront donc le même sort que l'ammoniac. Il est à noter que les nitrates et nitrites sont faiblement présents dans ces boues car ils représentent moins de 1% de l'azote total avant traitement. Et cette proportion s'abaisse à 0,38% après traitement.

L'azote disponible a été calculé pour l'année de l'épandage. Puisque l'azote organique se libérera sur plusieurs années, l'azote disponible total (i.e. après 4 ans) a aussi été calculé, selon le Guide des bonnes pratiques de l'épandage agricole (Flynn et al., 1987). L'augmentation de l'azote organique au dépend de l'azote ammoniacal et des nitrates-nitrites a pour effet de diminuer de 18% l'azote disponible pour l'année de l'épandage à  $\bar{t} = 0,75$  jour (temps de séjour recommandé). Par contre, l'azote organique se libère au taux de 30% pour l'an 1, 20% pour l'an 2, 5% pour l'an 3 et 3% pour l'an 4 (Flynn et al., 1987). D'où l'azote disponible après 4 ans n'est inférieur que de 5% après le traitement comparativement à des boues non traitées. En fait, cette transformation de l'azote ammoniacal en azote organique lors du procédé permet

Tableau 1.6: Effet du procédé de solubilisation sur la quantité de phosphore total et hydrolysable contenue dans les boues d'alimentation et les boues traitées et filtrées de Cowansville.

Temps de séjour (jour)		AVANT (mg·kg <sup>-1</sup> boue sèche)	APRÈS (mg·kg <sup>-1</sup> boue sèche)	REMARQUE
0,5	P <sub>t</sub>	38 200	38 200	- pas de pertes quantifiables dans les boues traitées
	P <sub>hydr.</sub>	15 000	14 400	- perte de 4 % dans les boues traitées
	P <sub>hydr.</sub> /P <sub>t</sub>	0,39	0,38	
0,75	P <sub>t</sub>	39 700	38 700	- perte de 2,4% dans les boues traitées
	P <sub>hydr.</sub>	14 950	16 000	- gain de 6,5% dans les boues traitées
	P <sub>hydr.</sub> /P <sub>t</sub>	0,38	0,41	
1,5	P <sub>t</sub>	18 900	18 200	- perte de 4% dans les boues traitées
	P <sub>hydr.</sub>	15 100	14 700	- perte de 2,6% dans les boues traitées
	P <sub>hydr.</sub> /P <sub>t</sub>	0,80	0,81	

de minimiser les pertes d'azote soluble lors de la filtration, en plus de grandement diminuer les odeurs générées par les boues.

### 1.3.6 Devenir du phosphore dans les boues de Cowansville

Les résultats concernant le phosphore contenu dans les boues sont présentés aux annexes 6. Le tableau 1.6 indique le devenir du phosphore (total et hydrolysable) lors du procédé de solubilisation. Pour tous les temps de séjour, les pertes sont en-dessous de 4%. Donc, le procédé n'affecterait pas la quantité de phosphore total contenue dans les boues. Dans le cas du phosphore hydrolysable, les résultats sont semblables. Il est à remarquer que la quantité de phosphore total qui est hydrolysable est moins élevée que dans le cas des boues anaérobies (Couillard et al., 1988). Dans l'expérience présente, le rapport  $\frac{P_{hydr}}{P_t}$  varie de 38 à 80% alors qu'il était de 97% dans les boues anaérobies. Le rapport d'environ 38% correspond aux cas pour lesquels la quantité de phosphore total est élevée ce qui laisse supposer une précipitation efficace du phosphore par le chlorure ferrique lors de la déphosphatation. Le rapport de 80% correspond à une teneur en phosphore total 2 fois plus faible suggérant une variation dans la qualité des eaux usées et/ou une déphosphatation moins efficace. Dans le premier cas (rapport 38 et 39%), la majeure partie du phosphore n'est pas hydrolysable en milieu acide ce qui le rend probablement non disponible aux plantes.

Le procédé ne semble pas influencé le rapport P hydrolysable/ $P_{tot}$ . Globalement, le procédé n'amène pas de changements importants pour les formes et les quantités de phosphore.

En résumé, le procédé de solubilisation semble avoir peu d'impact au niveau des éléments nutritifs. L'azote et le phosphore ne subissent que des changements mineurs lors du procédé.

#### 1.4 Conclusion

Le procédé a permis d'abaisser la concentration en deçà de la norme recommandée pour la teneur en cuivre ( $600 \text{ mg kg}^{-1}$  boue sèche) pour les temps de séjour de 0,75 et 1,5 jours dans le CSTR, dans le cas des boues aérobies de Cowansville qui ont subi une déphosphatation au chlorure ferrique. Pour les boues à l'alun, un temps de séjour de 1,5 jours a permis d'abaisser la concentration en manganèse à une valeur inférieure à la norme recommandée. Par contre, le procédé s'avère un peu moins rapide qu'avec les boues anaérobies. La plus faible température à laquelle l'expérience se déroule, la spéciation différente des métaux, la présence de percol, la concentration des sulfures et le degré de digestion des boues sont des facteurs qui pourraient expliquer cette différence. L'analyse et l'interprétation des derniers résultats permettra sans doute d'apporter des éléments de réponses dans le rapport final. Au niveau des éléments nutritifs, le procédé de solubilisation semble avoir peu d'impact. En effet, l'azote et le phosphore ne subissent que des changements mineurs lors du procédé et ces pertes sont semblables à celles ayant lieu lors d'une déshydratation conventionnelle des boues aérobies. Les tests de filtration ont été, jusqu'à présent, tous positifs. Ils permettent d'envisager la déshydratation à l'aide d'un filtre presse à plateaux sans ajout de polymère. À ce sujet, il serait bon lors de la poursuite du projet de prévoir la location d'une mini-unité de filtre presse à plateaux afin de valider les conclusions pour la filtration. Il serait ainsi possible de prévoir les dimensions du filtre presse à plateaux à utiliser avec l'usine pilote.

### Objectifs trimestriels prévus et atteints

Les essais dans le CSTR sont terminés pour les trois temps de séjour avec les boues au  $\text{FeCl}_3$  et avec un temps de séjour avec les boues à l'alun. L'analyse des diverses formes d'azote et de phosphore et l'étude de la séparation solide-liquide (test de filtrabilité) sont terminées. Des tests de centrifugation ont été entrepris et les résultats sont en cours d'interprétation. Les effets de la digestion, de la présence de percol ont été étudiés avec de simples essais en cuvée. Un essai dans le CSTR sur les boues aérobies non déphosphatées de l'usine de la Haute-Bécancour a aussi été réalisée pour évaluer si la déphosphatation empêche la solubilisation des métaux. Tous les essais au laboratoire sont terminés, l'analyse et l'interprétation des résultats sont en cours afin de réaliser la rédaction des rapports finaux et abrégés.

	% d'atteinte
Essais dans le CSTR	100%
Analyse de N et P	100%
Séparation solide-liquide	75%
Rédaction du rapport final et abrégé	10%

## REFERENCES

APHA (1985).

Standards methods for the examination of water and wastewater. 16<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, Washington, D.C.

COUILLARD, D., MERCIER, G., TRAY, F., TYAGI, R.D. (1988). Étude sur la solubilisation biologique des métaux lourds des boues anaérobies d'épuration pour fin de valorisation agricole; Tome IV. Rapport scientifique no 265, présenté au Centre Québécois de valorisation de la biomasse, INRS-Eau, Université du Québec, 172 p.

DEGRÉMONT (1978).

Mémento Technique de l'eau. 8e édition. Degrémont, Paris.

EPA (1979a).

Methods for Chemical Analysis of water and waste, EPA-600/479-020, Méthode II, 365: 2-5.

EPA (1979b).

Process Design Manual Sludge Treatment and Disposal. United States Environmental Protection Agency, EPA 625/1-79-011, Municipal, Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio 45268.

INRS-Eau (1989a). Solubilisation biologique des métaux dans les boues digérées aérobies. Rapport trimestriel I / présenté au CQVB-CSL-SQAE, rapport interne, INRS-Eau, Université du Québec.

INRS-Eau (1989b). Solubilisation biologique des métaux dans les boues digérées aérobiees. Rapport trimestriel II / présenté au CQVB-CSL-SQAE, rapport interne, INRS-Eau, Université du Québec.

INRS-Eau (1989b). Solubilisation biologique des métaux dans les boues digérées aérobie. Rapport trimestriel II / présenté au CQVB-CSL-SQAE, rapport interne, INRS-Eau, Université du Québec.

Annexe 1: Résultats pour le temps de séjour de 1,5 jours dans le CSTR sur les boues aérobies de Cowansville.

Temps (jours)	pH	PCR (mV)	Solides totaux (%)	Cu		Zn		Mn		Ni	
				mg/L sol.	%						
				mg/L Tot.	sol.						
0	2,94	395	2,31	11,19	38,3	7,64	69,1	21,8	72,9	0,35	58,3
				29,2		11,05		29,9		0,6	
0,3	3,02	410		12,06	41,3	7,99	72,3	23,1	7,7	0,39	65,0
				29,2		11,5		29,9		0,6	
1,0	2,65	550	2,22	14,68	55,6	7,7	73,3	21,55	78,9	0,37	49,3
				26,4		10,5		27,3		0,75	
1,3	2,58	520	2,13	14,34	54,3	7,8	74,3	21,81	79,9	0,37	49,3
				26,4		10,5		27,3		0,75	
2,0	2,64	550	2,04	14,41	55,7	7,4	66,4	21,14	82,6	0,35	50,0
				25,85		11,15		25,6		0,70	
3,3	2,81	530	1,85	13,45	53,7	6,85	76,5	18,55	78,9	0,30	50,0
				25,05		8,95		23,5		0,6	
4,0	2,83	435	1,95	12,60	53,1	7,88	81,2	21,43	91,4	0,42	60,0
				23,75		9,7		23,45		0,7	
4,3	2,76	446	1,95	12,26	51,6	7,55	77,8	20,38	86,9	0,36	51,4
				23,75		9,7		23,45		0,7	
5,0	2,62	540	1,91	13,81	55,6	7,68	76,8	21,48	91,2	0,37	56,9
				24,85		10,00		23,55		0,65	
5,3	2,72	510		13,96	56,2	8,62	86,2	23,45	97,1	0,45	69,2
				24,85		10,00		27,15		0,65	
6,0	2,66	520	2,08	14,52	54,9	8,01	71,8	24,63	86,4	0,38	47,5
				26,45		11,95		27,15		0,80	
6,3	2,68	470	2,16	14,63	53,3	8,34	74,8	23,47	90,7	0,40	50,0
				26,95		11,15		26,5		0,80	
7,0	2,72	516	2,00	14,14	52,9	7,94	72,5	24,3	88,6	0,37	43,5
				26,75		10,95		26,5		0,85	
7,3	2,78	470	2,06	13,35	49,9	7,95	72,6	24,3	91,7	0,37	43,5
				26,75		10,95		26,5		0,75	
8,0	2,77	521	2,01	13,91	53,5	7,74	76,6	23,92	99	0,37	52,8
				26,00		10,1		24,00		0,70	
8,3	2,70	480		13,67	52,6	8,09	80,1	24,63	100	0,41	58,6
				26,00		10,1		24,00		0,70	
9,0	2,70	500	2,08	13,89	58,4	8,05	79,7	24,24	100	0,38	54,3
				23,8		10,1		21,35		0,70	
Moyenne zone de stabilité (%) (jours 5 à 9)	2,70 ± 0,05	503 ± 24	2,05 ± 0,12*		54,1 ± 2,4		76,8 ± 4,6		93,9 ± 5,2		52,9 ± 8,14
Métaux totaux moyens des boues du réacteur (mg/kg boue sèche)					1 266		513		1 255		35

\* jours 0 à 9

Annexe 1 (suite): Résultats pour le temps de séjour de 1,5 jours dans le CSTR sur les boues aérobies de Cowansville.

Temps (jours)	Cd		Pb		Cr		Fe		Al	
	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%
	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.
0	0,016	40	0	0	0	0	157,4	9,5	1,99	0,5
	0,04		1,1				1 646		443	
0,3	0,018	45	0	0	0	0	301,6	18,3	2,29	0,5
	0,04		1,1		1,8		1 646		443	
1,0	0,018	40	0	0	0	0	90,1	16,2	2,21	0,5
	0,045		1,15		1,8		1 554		443	
1,3	0,018	40	0	0	0	0	135,3	8,7	2,21	0,5
	0,045		1,15		1,8		1 554		405	
2,0	0,018	60	0	0	0	0	83,6	4,8	2,28	0,6
	0,03		1,25		1,85		1 757		370	
3,3	0,018	12	0	0	0	0	39,3	3,4	2,11	0,6
	0,015		1,1		1,60		1 148		370	
4,0	0,016	80	0	0	0	0	46,9	33,9	2,74	0,8
	0,02		1,05		1,60		1 383		341	
4,3	0,014	70	0	0	0	0	299,5	21,6	2,42	0,7
	0,02		1,05		1,60		1 383		341	
5,0	0,017	56	0	0	0	0	172,8	13,1	2,34	0,6
	0,03		1,3		1,80		1 316		360	
5,3	0,016	53	0	0	0	0	507,2	38,5	2,70	0,8
	0,03		1,3		1,80		1 316		360	
6,0	0,018	60	0	0	0	0	148,4	9,1	2,53	0,7
	0,03		1,4		1,90		1 629		382	
6,3	0,018	60	0	0	0	0	247,3	15,2	2,63	0,7
	0,03		1,4		1,90		1 629		382	
7,0	0,016	40	0	0	0	0	127,6	8,1	2,37	0,6
	0,04		1,2		1,95		1 573		384	
7,3	0,016	40	0	0	0	0	183,3	11,6	2,44	0,6
	0,04		1,2		1,95		1 573		384	
8,0	0,017	68	0	0	0	0	131,8	9,7	2,36	0,6
	0,025		1,25		1,75		1 364		373	
8,3	0,016	64	0	0	0	0	275,4	20,2	2,61	0,6
	0,025		1,25		1,75		1 364		383	
9,0	0,017	68	0	0	0	0	201	26,9	2,51	0,6
	0,025		1,05		1,55		795		373	
Moyenne sur zone de stabilité (%) (jours 5 à 9)		56,6 ±106		0		0		17 ± 10		0,6 ± 0,1
Métaux totaux moyens des boues du réacteur (mg/kg boue sèche)		1,6	58		86		68 880		17 800	

Annexe 2a(i): Teneur en métaux retrouvée dans les boues filtrées de Cowansville (0,5 jour).

mg/kg boue sèche kg polymère/ boue sèche	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cr	Pb	Cd	Ni
0	1 051	386	43 960	563	341	125	96	1,7	29
1	1 129	369	43 106	618	250	139	94	1,5	25
2	1 045	408	37 390	726	293	141	96	1,8	29
4	1 008	348	26 953	521	345	118	92	1,5	25
X	1 058 ± 51	378 ± 25	37 852 ± 7 829	607 ± 89	307 ± 45	131 ± 11	93 ± 2	1,6 ± 0,2	27 ± 2
Alimentation	1 024	540	25 809	1 340	307	128	89	2,00	32
	979	518	35 763	1 553	259	137	88	3,47	32
	1 026	555	37 564	1 564	269	124	88	3,41	34
	926	529	36 213	1 490	237	126	82	3,88	36
	1 076	548	34 943	1 486	263	217	94	4,80	45
	1 036	569	34 401	1 551	231	192	93	4,79	39
	977	477	33 693	1 214	226	166	82	2,76	35
	1 252	618	46 342	1 589	328	152	100	2,63	37
X	1 037 ± 98	544 ± 41	35 591 ± 5 619	1 473 ± 131	265 ± 36	155 ± 34	90 ± 6	3,00 ± 1	36 ± 4

Annexe 2a(ii): Teneur en métaux retrouvés dans le filtrat lors de la filtration des boues de Cowansville (0,5 jour).

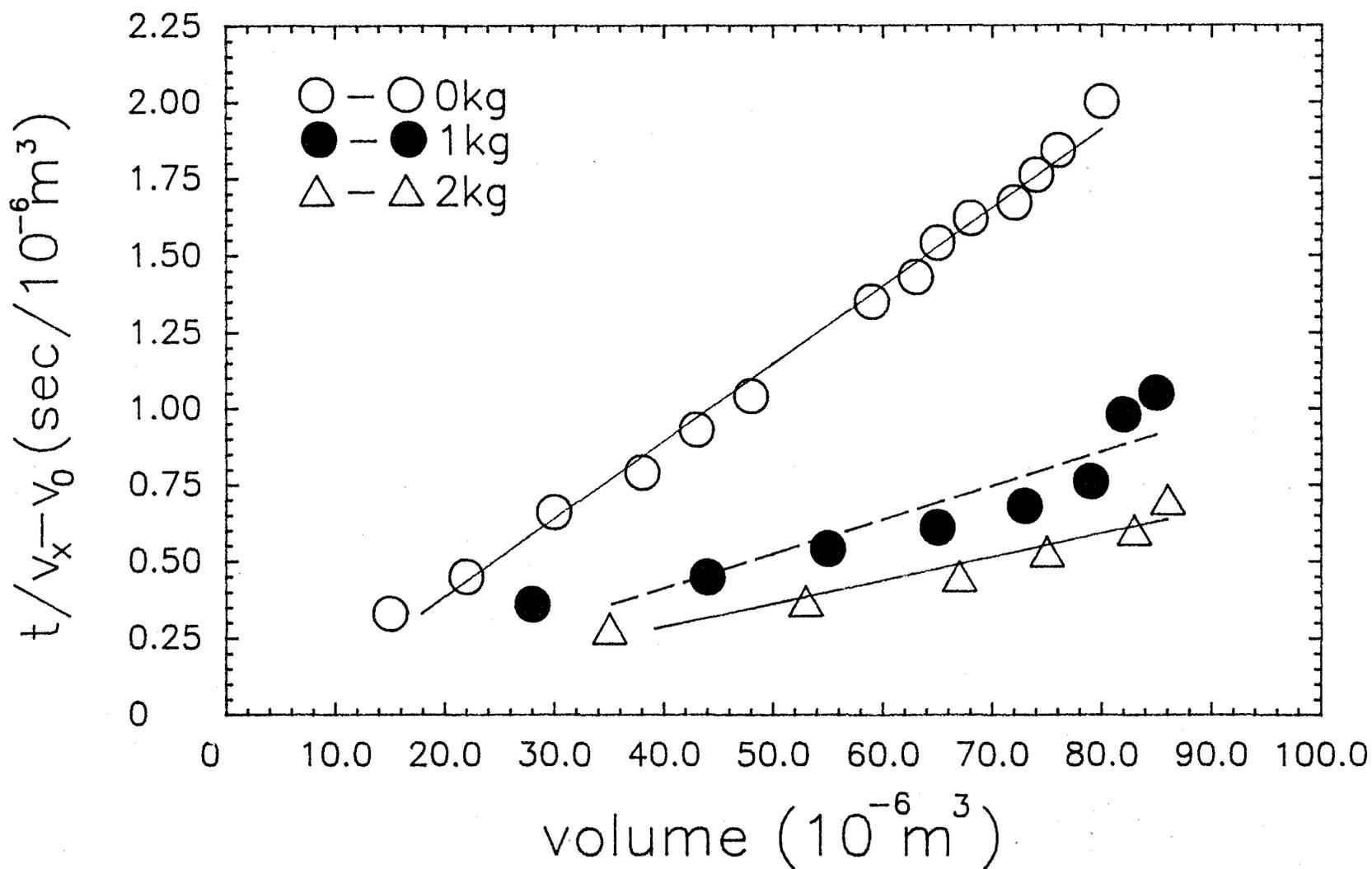
kg polymère	Cu		Zn		Fe		Mn		Al		Cr		Pb		Cd		Ni	
	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%
t boue sèche	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.
1	0		5,54	42,3	586	55,8	21,6	67,7	0		0		0		0		0,37	49
			13,3		1 050		31,9											0,75
2	0		5,41	40,7	571	54,3	21,2	66,4	0		0		0		0		0,39	52
			13,3		1 050		31,9											0,75
0	0		5,9	46,8	690	58,4	21,5	65,1	0		0		0		0		0,38	42
			12,6		1 180		33,0											0,9
1	0		5,75	45,6	265	22,4	19,2	58,2	0		0		0		0		0,35	39
			12,6		1 180		33,0											0,9
2	0		5,54	43,9	670	56,8	20,5	62,1	0		0		0		0		0,37	41
			12,6		1 180		33,0											0,9
4	0		5,26	41,7	581	49,2	19,5	59,1	0		0		0		0		0,33	37
			12,6		1 180		33,0											0,9
X	0		43,5 ± 2,4		49,5 ± 14		63,1 ± 3,9		0		0		0		0		43 ± 6	

Annexe 2b(i): Teneur en métaux retrouvés dans les boues filtrées de Cowansville (0,75 jour).

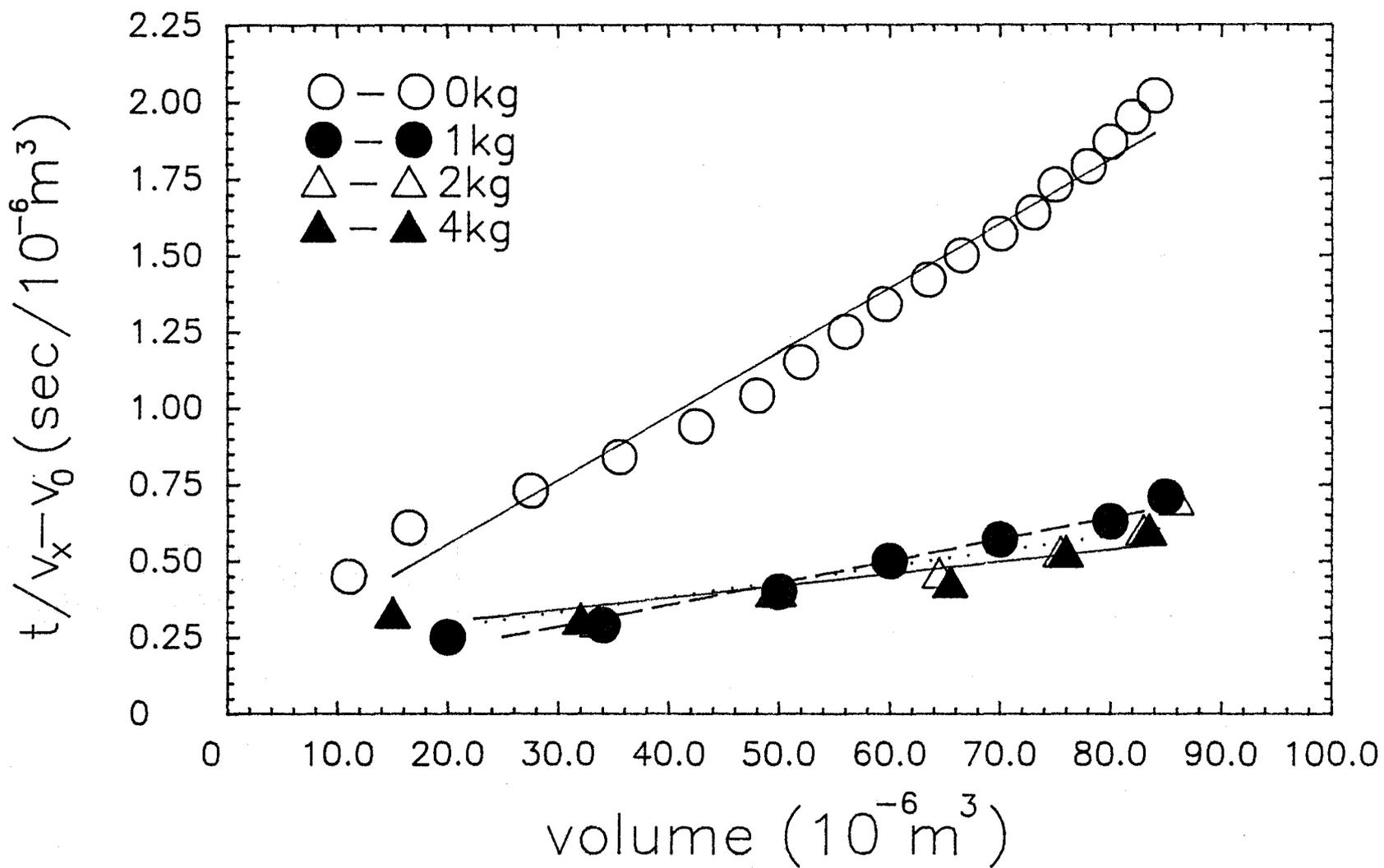
mg/kg boue sèche kg polymère/t boue sèche	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cr	Pb	Cd	Ni
0	610	180	53 094	394	318	206	106	0	38
2	536	183	54 980	411	330	195	101	0	34
$\bar{X}$	573 $\pm$ 52	181 $\pm$ 2	54 037 $\pm$ 1 333	402 $\pm$ 12	324 $\pm$ 8	200 $\pm$ 8	103 $\pm$ 4	0	36 $\pm$ 3
Alimentation	1 024 979 1 026 926 1 076 1 036 977 1 252	540 518 555 529 548 569 477 618	25 810 35 763 37 564 36 213 34 943 34 401 33 693 46 342	1 340 1 553 1 564 1 490 1 486 1 551 1 214 1 589	307 259 269 237 263 231 226 328	128 137 124 126 217 192 166 152	89 88 88 82 94 93 82 100	2,00 3,47 3,41 3,88 4,80 4,79 2,76 2,63	32 32 34 36 45 39 35 37
$\bar{X}$	1 037 $\pm$ 98	544 $\pm$ 41	35 591 $\pm$ 5 619	1 473 $\pm$ 131	265 $\pm$ 36	155 $\pm$ 34	90 $\pm$ 6	3,00 $\pm$ 1	36 $\pm$ 4

Annexe 2b(ii): Teneur en métaux retrouvés dans le filtrat lors de la filtration des boues de Cowansville (0,75 jour).

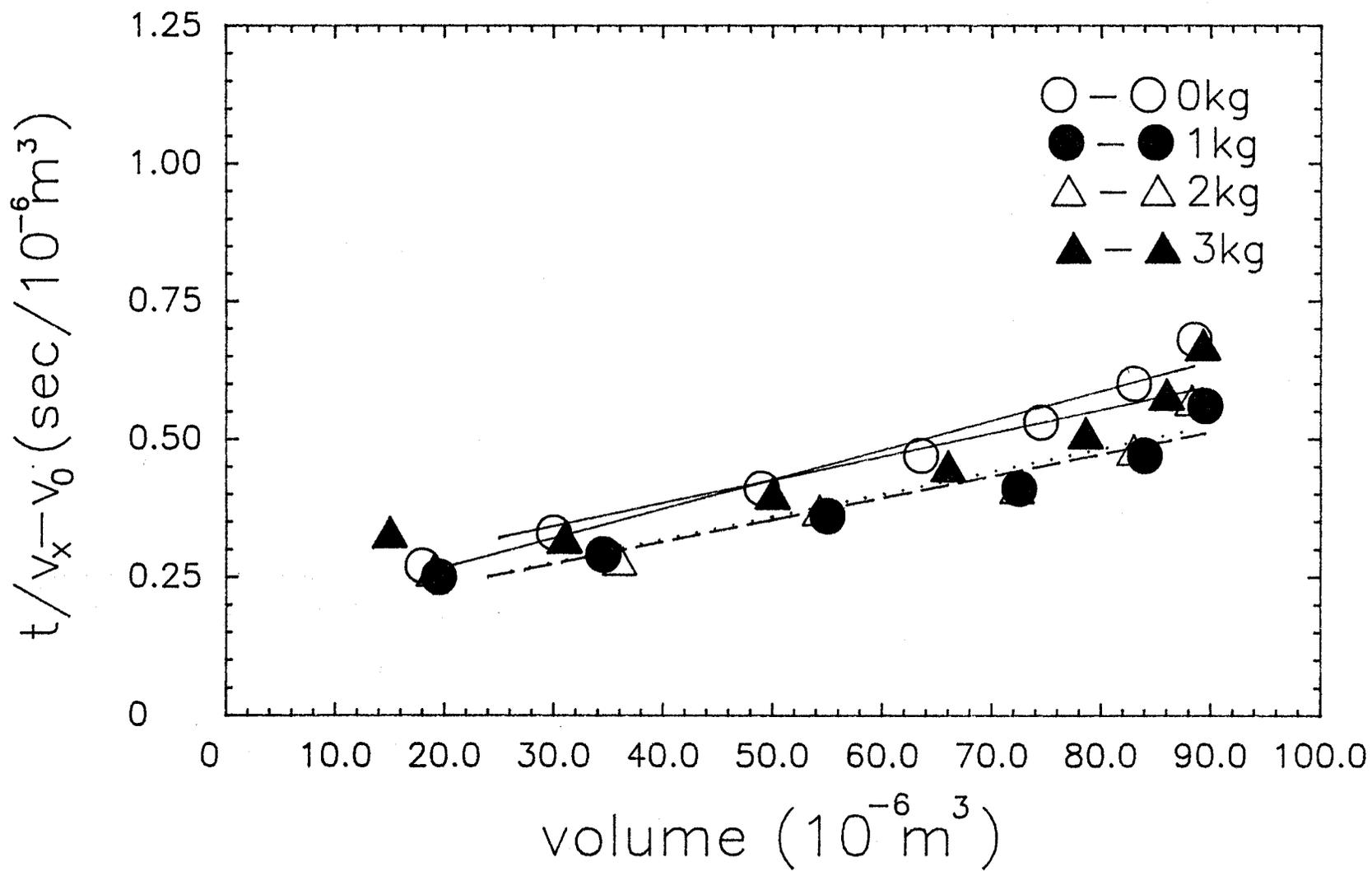
kg polymère	Cu		Zn		Fe		Mn		Al		Cr		Pb		Cd		Ni	
	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%
t boue sèche	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.
0	9,37	50	8,47	67	390	33	18,50	71	0,074	1,6	0	0	0,025	0,7	0,61	40,7		
	18,7		12,6		1 190		26,0		4,5				3,5		1,5			
0	9,16	49	7,31	59	630	53	18,10	70	0,063	1,4	0	0	0,026	0,7	0,39	32,5		
	18,7		12,6		1 190		26,0		4,5				3,5		1,2			
1	8,8	47	7,63	61	153	13	18,30	70	0,065	1,4	0	0	0,02	0,6	0,50	66,7		
	18,7		12,6		1 190		26,0		4,5				3,5		0,75			
0	9,14	53	7,78	68	—		18,90	76	0,060	2,6	0	0	0,18	0,5	—			
	17,4		11,7		25,0	2,3	3,3		—									
1	9,20	53	7,72	68	—		18,8	75	0,060	2,6	0	0	0,019	0,5	—			
	17,4		11,4		25,0	2,3	3,3		—									
2	9,05	52	7,45	65	—		18,6	74	0,060	2,6	0	0	0,019	0,5	—			
	17,4		11,4		25,0	2,3	3,3		—									
3	9,02	52	7,47	66	—		18,02	72	0,059	2,6	0	0	0,021	0,6	—			
	17,4		11,4		25,0	2,3	3,3		—									
X	50 ± 2		65 ± 4		33 ± 20		72,5 ± 2,1		2,1 ± 0,6		0		0		0,58 ± 0,09		46 ± 18	



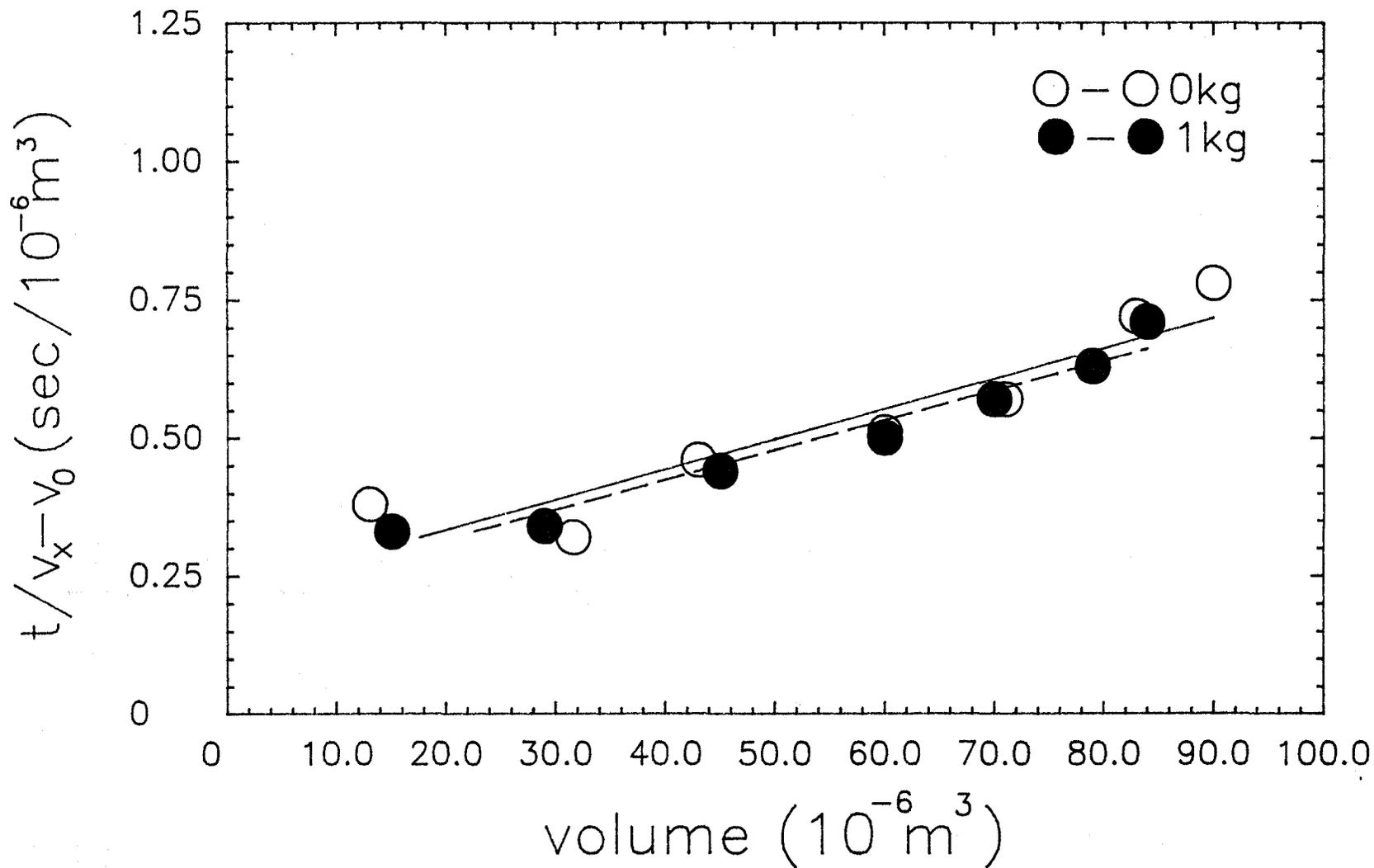
Annexe 3a(i) : Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère à 0,5 jour (jour 2), avec les boues de Cowansville.



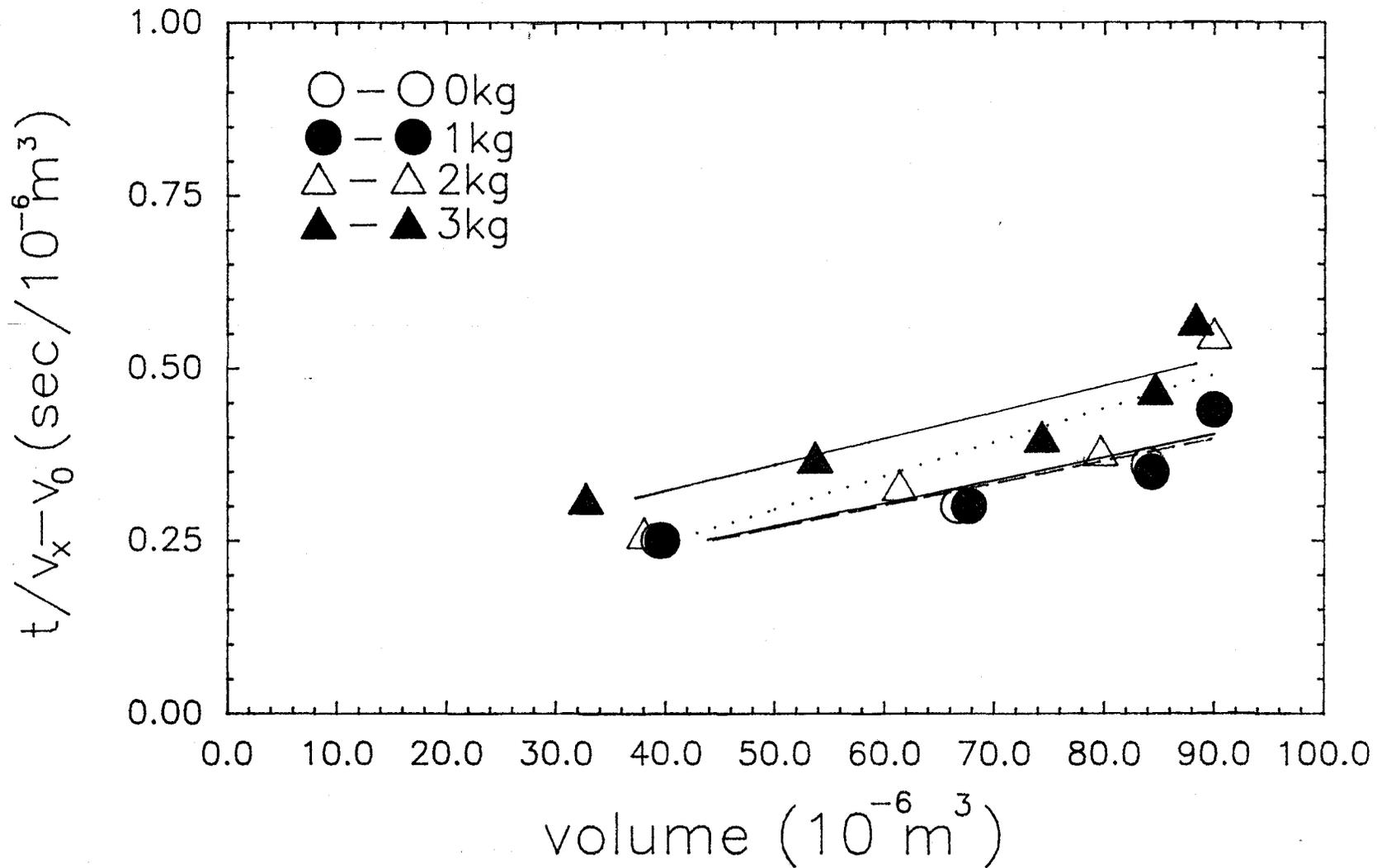
Annexe 3a(ii): Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère à 0,5 jour (jour 3), avec les boues de Cowansville.



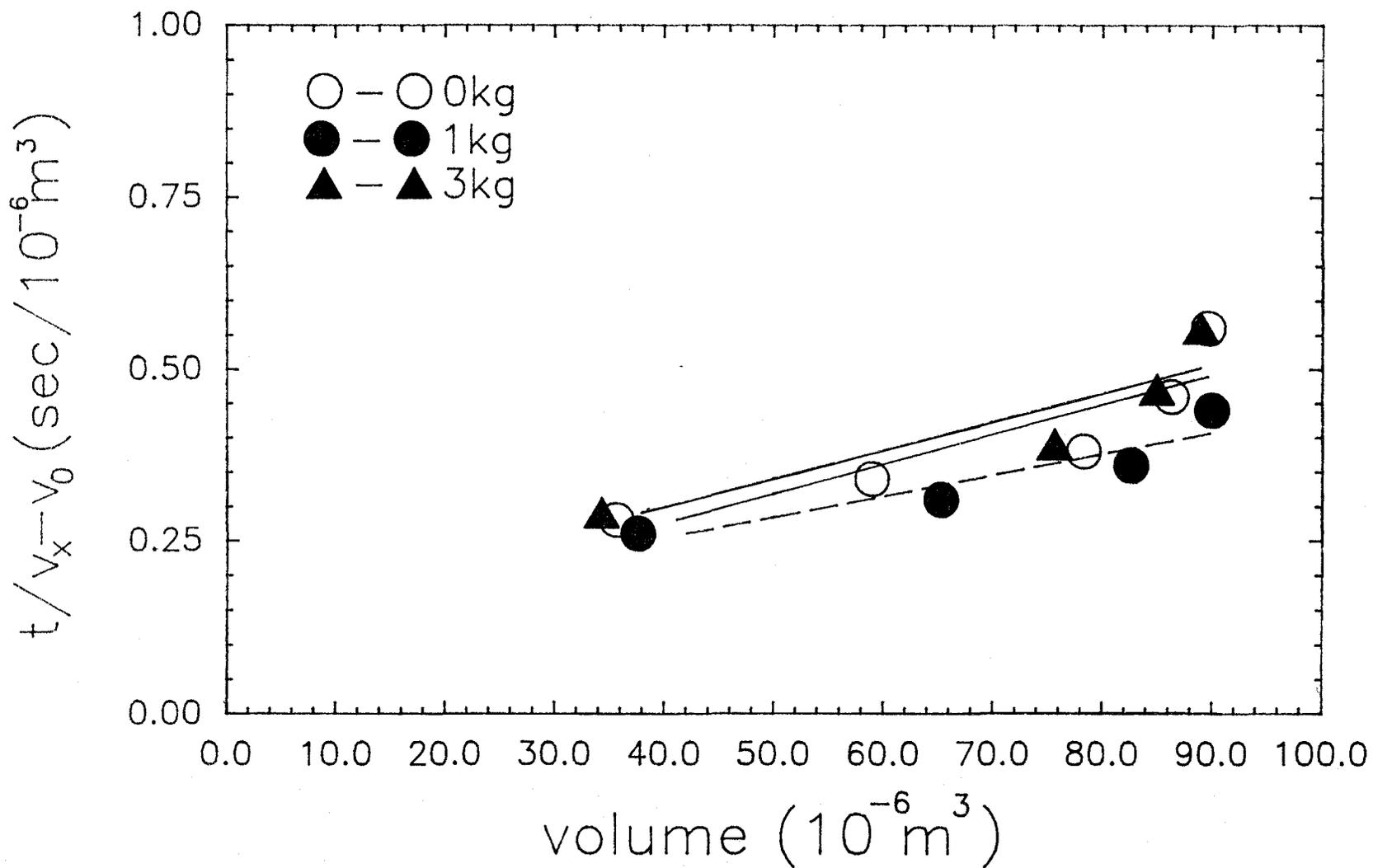
Annexe 3b(i) : Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère à 0,75 jour (jour 5), avec les boues de Cowansville.



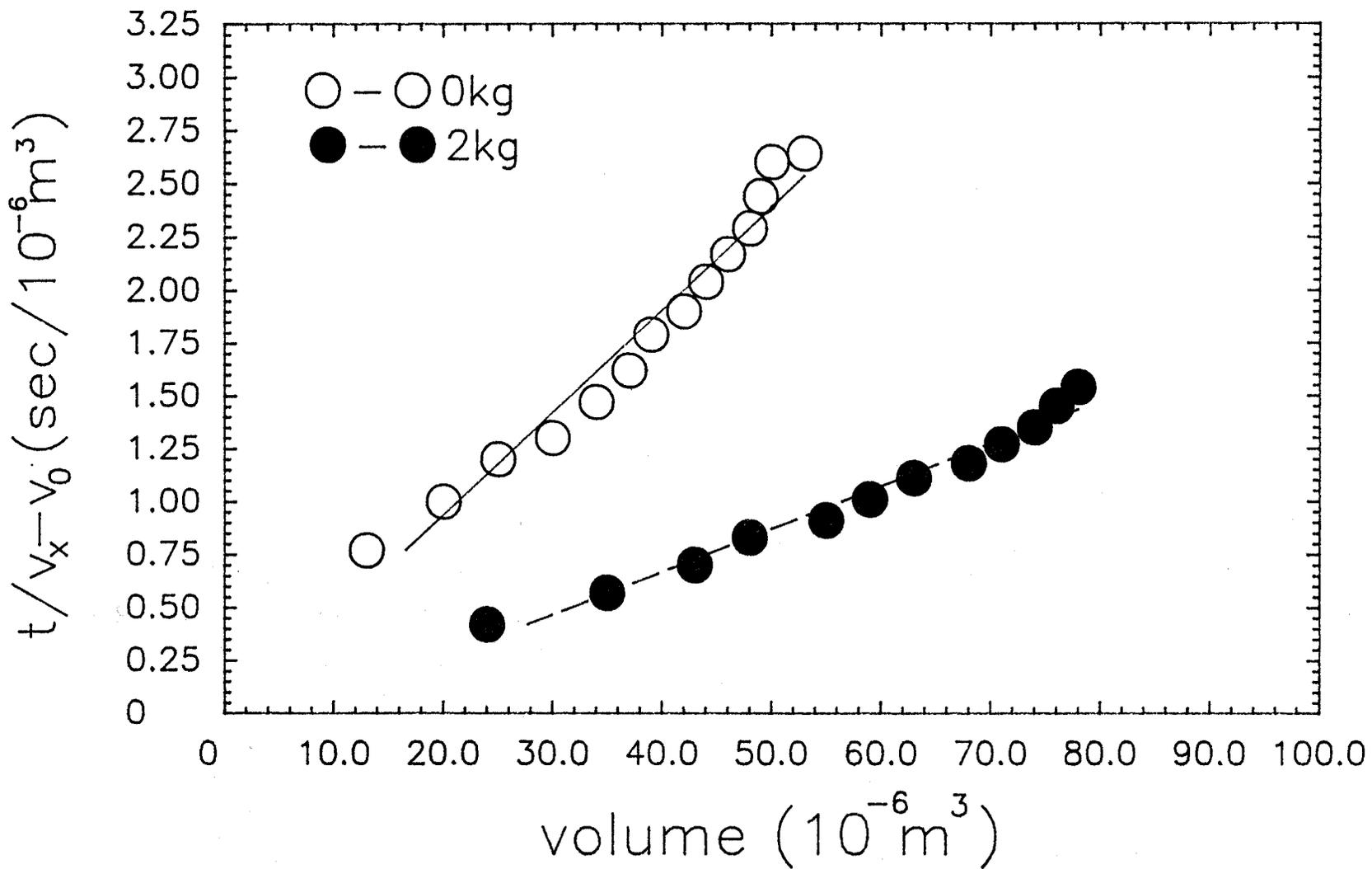
Annexe 3b(ii): Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère à 0,75 jour (jour 4), avec les boues de Cowansville.



Annexe 3c(i): Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère à 1,5 jour (jour 5), avec les boues de Cowansville.



Annexe 3c(ii): Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère à 1,5 jour (jour 6), avec les boues de Cowansville.



Annexe 3d: Détermination des pentes ayant servi au calcul du coefficient de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ), avec différentes doses de polymère, des boues naturelles de Cowansville.

Annexe 3e: Coefficients de résistance spécifique ( $r_{0,5}$ ) trouvés pour la boue nature et les différents temps de séjour avec les boues de Cowansville.

Coefficient de résistance spécifique ( $10^{12}$  m/kg)

<u>kg de polymère</u> tonne boue sèche	0	1	2	3	4
Boue de l'alimentation	8,58	----	3,57	----	----
0,5 jour (jour 2)	3,74	1,64	1,14	----	----
0,5 jour (jour 3)	3,76	1,28	0,90	----	0,71
0,75 jour (jour 4)	0,99	0,97	----	----	----
0,75 jour (jour 5)	0,91	0,68	0,71	0,72	----
1,5 jours (jour 5)	0,6	0,58	0,88	0,69	----
1,5 jours (jour 6)	1,24	0,88	----	1,20	----

Annexe 4a: Résultats pour le temps de séjour de 1,5 jour dans le CSTR sur les boues aérobies de Beauceville (boue à l'alun).

Temps (jours)	pH	POR (mV)	Solides totaux (%)	Cu		Zn		Mn		Ni	
				mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%
				mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.
0	3,35	566	2,02	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	3,29	461		—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	3,30	531		—	—	—	—	—	—	—	—
1,3	3,15	442		—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	3,18	530	2,46	—	—	—	—	—	—	—	—
2,3	3,15	440		—	—	—	—	—	—	—	—
3,0	3,25	521	2,20	2,75 4,60	59,7	7,32 8,91	82,1	43,75 45,00	97,0	0,5 0,75	66,7
3,3	3,16	427		2,54 4,60	55,2	6,91 8,91	77,5	41,37 42,95	96,3	0,52 0,75	69,3
4,0	3,30	513	2,20	2,14 5,00	42,6	6,65 8,83	75,3	42,69 44,74	95,4	0,44 0,82	53,6
4,3	3,19	460		2,17 5,00	43,4	6,70 8,83	75,8	43,09 44,74	96,3	0,46 0,82	56,1
5,1	3,32	515	2,29	1,78 5,20	34,2	6,20 9,2	67,4	41,40 44,74	92,5	0,41 0,85	48,2
6,4	3,45	494		1,43 5,05	28,3	5,96 8,84	67,4	39,93 44,74	89,2	0,36 0,85	42,3
7,0	3,18	445	2,13	1,90 4,85	39,1	6,56 10,15	64,6	43,43 45,64	95,2	0,39 0,85	45,9
7,3	3,09	446		1,90 4,85	38,7	6,48 10,15	63,8	41,26 25,64	90,4	0,41 0,85	48,2
8,0	3,15	532	2,05	1,99 4,60	43,3	6,42 9,05	70,9	41,51 42,95	96,6	0,38 0,8	47,5
8,3	3,06	523		2,07 4,60	45,0	6,55 9,05	72,4	42,44 42,95	98,8	0,40 0,8	50
9,0	3,17	545		1,99 4,60	43,3	6,56 9,00	72,9	41,46 44,30	93,6	0,40 0,8	50
Moyenne zone de stabilité (jours 5 à 9)	3,20 ± 0,14	500 ± 40	2,15 ± 0,12*		38,8 ± 5,9		68,5 ± 3,6		93,8 ± 3,4		52,5 ± 8,4
Métaux totaux moyens des boues du réacteur (mg/kg boue sèche)					228		437		1 954		38

Annexe 4a: Résultats pour le temps de séjour de 1,5 jour dans le CSTR sur les boues aérobies de Beauceville (boue à l'alun).

Temps (jours)	Cd		Pb		Cr		Fe		Al	
	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%	mg/L sol.	%
	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.	mg/L Tot.	sol.
0	—		—		—		—		—	
0,3	—		—		—		—		—	
1,0	—		—		—		—		—	
1,3	—		—		—		—		—	
2,0	—		—		—		—		—	
2,3	—		—		—		—		—	
3,0	0,03	60	0	0	0	0	7,8	1,07	202	27,9
	0,05		1,25		1,00		726		725	
3,3	0,03	60	0	0	0	0	60,3	8,3	174	24,0
	0,05		1,25		1,00		726		725	
4,0	0,03	60	0	0	0	0	8,4	1,02	142	19,3
	0,05		1,25		1,00		823		735	
4,3	0,03	60	0	0	0	0	34,1	4,14	132	18,0
	0,05		1,25		1,00		823		735	
5,1	0,03	60	0	0	0	0	4,9	0,59	116	15,8
	0,05		1,25		1,00		823		735	
6,4	0,03	60	0	0	0	0	2,8	0,34	99,9	13,1
	0,05		1,25		0,95		823		762	
7,0	0,03	60	0	0	0	0	66	5,8	110	13,9
	0,05		1,25		0,90		1145		788	
7,3	0,03	60	0	0	0	0	98,9	8,6	106	13,5
	0,05		1,25		1,25		1145		788	
8,0	0,03	60	0	0	0	0	16,8	1,94	114	15,7
	0,05		1,10		1,35		866,5		725	
8,3	0,03	60	0	0	0	0	38,2	4,40	115	15,8
	0,05		1,10		1,30		866,5		725	
9,0	0,04	80	0	0	0	0	18,2	2,03	117	17,0
	0,05		1,10		1,15		895		688	
Moyenne sur zone de stabilité (jours 5 à 9)		61,8 ± 6,0		0		0		3,5 ± 3,0		15,0 ± 1,5
Métaux totaux moyens dans les boues du réacteur (mg/kg boue sèche)		2,3		54,9		50		43 366		34 420

Annexe 5a i): Bilan sur NTK à 0,5 jour sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	Réacteur (mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	NTK (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	35 000	996	34 600	1er essai	0	138	14
					1	127	13
					4	139	14
2e essai	34 600	—	—	2e essai	1	141	15
					2	129	15
							$\bar{X} = 14$
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	NTK (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	0	38 200	+ 11
					1	37 600	+ 9
					4	37 500	+ 8
				2e essai	1	38 000	+ 10
					2	35 700	+ 3
							$\bar{X} = 8$

Annexe 5a ii): Bilan sur  $\text{N-NH}_4^+$  0,5 jour sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$\text{N-NH}_4^+$ (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	2 732	93	3 700	1er essai	1	136	100
2e essai	4 400	116	4 400	2e essai	0	128	100
				1	130	100	
				4	126	100	
				$\bar{X} = 100$			
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	$\text{N-NH}_4^+$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	1	2 430	34
				2e essai	0	2 050	53
			1		3 690	16	
			4		3 940	10	
				$\bar{X} = 23$			

Annexe 5a iii): Bilan sur  $N-NO_3^- \cdot NO_2^-$  0,5 jour sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$N-NO_3^- \cdot NO_2^-$ (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	326	5,9	235	1er essai	1	4,2	71
2e essai	16	7,9	302	2e essai	0	0,7	9
				1	1,3	16	
				2	0	—	
				4	1,8	23	
						$\bar{X} = 24$	
				Boues traitées (kg poly/t boue sèche)	$N-NO_3^- \cdot NO_2^-$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)	
				1er essai	1	40	- 83
				2e essai	0	42	- 86
			1		54	- 82	
			2		34	- 89	
			4		50	- 83	
						$\bar{X} = - 85$	

Annexe 5b i): Bilan sur NTK à 0,75 jour sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	NTK (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	36 400	805	35 400	1er essai	0 96	12 12	
2e essai	32 300	—	—	2e essai	0 1 2	23,9 55,8 19,7 $\bar{X} = 6,7$	
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	NTK (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	0	34 400	- 5,5
				2e essai	0 1 2	33 700 38 600 38 200	+ 4,4 + 19,5 + 18,1 $\bar{X} = + 9,2$

Annexe 5b ii): Bilan sur  $\text{N-NH}_4^+$  0,75 jour sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$\text{N-NH}_4^+$ (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	1 860	59	2 890	1er essai 0P	65,2	100	
				1P	71,2	100	
2e essai	4 920	65	3 180	2e essai 0P	69,2	100	
				1P	65,2	100	
				2P	69,2	100	
				3P	69,2	100	
						$\bar{X} = 100$	
				Boues traitées (kg poly/t boue sèche)	$\text{N-NH}_4^+$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)	
				1er essai	0	680	76
					1	0	100
				2e essai	0	169	95
					1	1 460	54
					2	1 390	56
					3	1 390	56
						$\bar{X} = 73$	

Annexe 5b iii): Bilan sur  $N-NO_3^- \cdot NO_2^-$  0,75 jour sur les boues de Cowansville

	Alimentation		Réacteur		Filtrat		$N-NO_3^- \cdot NO_2^-$ (mg/L)	Perte (%)
	(mg/L)	(mg/kg boue sèche)	(mg/L)	(mg/kg boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)			
1er essai	5,3	262	6,9	341	1er essai	0	0,3	6
						1	1,2	22
2e essai	0,3	37 (annulé)	6,5	309	2e essai	1	40	> 100
						2	94	> 100
						3	125	> 100
								$\bar{X} = 66$
					Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	$N-NO_3^- \cdot NO_2^-$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
					1er essai	0	244	- 6,8
					2e essai	1	60 (sur 262)	- 77,1
				2		60 (sur 262)	- 77,1	
				3		98 (sur 262)	- 62,6	
								$\bar{X} = 56$

Annexe 5c i): Bilan sur NTK à 1,5 jours sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	NTK retrouvé (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	24 000	431	22 600	1er essai	0	40,2	9,3
					1	38,7	9,0
					3	37,4	8,7
2e essai	23 100	540	26 000	2e essai	0	39,7	7,4
					1	41,2	7,6
					3	40,2	7,4
						$\bar{X} = 8,2$	
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	NTK retrouvé (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	0	24 500	+ 2,0
					1	22 000	- 8,0
					3	21 000	- 12,5
				2e essai	0	20 600	- 10,8
					1	20 400	- 11,8
					3	24 000	+ 3,9
						$\bar{X} = - 6,2$	

Annexe 5c ii): Bilan sur  $\text{N-NH}_4^+$  1,5 jours sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	Réacteur (mg/L) (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$\text{N-NH}_4^+$ (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	1 380	33,6	1 759	0	34,8	100
				1	31,8	94,6
				3	30,6	91,1
2e essai	2 017	36,9	1 774	0	31,8	86,2
				1	34,8	94,3
				3	32,7	88,6
					$\bar{X} = 92,5$	
			Boues traitées	(kg poly/t $\text{N-NH}_4^+$ boue sèche) retrouvé (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)	
			1er essai	0	458	74
				1	426	76
				3	407	77
			2e essai	0	403	77
				1	427	76
				3	401	77
					$\bar{X} = 76$	

Annexe 5c iii): Bilan sur  $N-NO_3 \cdot NO_2$  1,5 jours sur les boues de Cowansville

	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$N-NO_3 \cdot NO_2$ (mg/L)	Perte (%)	
1er essai	270	4,5	230	1er essai	0	5,3	100
					1	5,4	100
					3	5,4	100
2e essai	251	8,3	400	2e essai	0	7,8	93
					1	8,3	100
					3	8,3	100
						$\bar{X} = 99$	
				Boues traitées (kg poly/t boue sèche)	$N-NO_3 \cdot NO_2$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)	
				1er essai	0	229	15
					1	168	37
					3	176	35
				2e essai	0	215	14
					1	224	11
					3	213	15
						$\bar{X} = 21$	

Annexe 6a i): Bilan sur le phosphore total à 0,5 jour sur les boues de Cowansville

Essai	Alimentation (mg/kg boue sèche)	Réacteur		Filtrat		P <sub>t</sub> (mg/L)	Perte (%)
		(mg/L)	(mg/kg boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)		
1	38 200	1 004	40 200	1er essai	1	73	7,3
					2	73	7,3
2	38 200	943	36 100	2e essai	0	127	13,3
					2	125	13,3
					4	117	12,4
							$\bar{X} = 8,8$
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	P <sub>t</sub> (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	1	42 000	+ 5,2
					2	38 000	- 0,5
				2e essai	1	39 900	+ 4,5
					4	33 000	-13,6
						$\bar{X} = 38 225$	- 1,1

Annexe 6a ii): Bilan sur le phosphore hydrolysable à 0,5 jour sur les boues de Cowansville

Essai	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$P_{hydr}$ (mg/L)	Perte (%)	
1	15 100	380	15 200	1er essai	1	36	9,5
					2	37	9,6
2	14 800	370	14 200	2e essai	0	4	1
					1	5,5	1,5
					4	5	1,4
							$\bar{X} = 4,4$
			Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	$P_{hydr}$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)	
			1er essai	0	14 500	- 4,0	
				1	13 600	- 9,9	
				2	15 600	+ 3,3	
			2e essai	0	14 600	- 1,4	
				1	14 300	- 3,3	
				4	14 000	- 5,4	
					$\bar{X} = 14 400$	- 3,5	

Annexe 6b i): Bilan sur le phosphore total à 0,75 jour sur les boues de Cowansville

Essai	Alimentation (mg/kg boue sèche)	(mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat (kg poly/t boue sèche)	$P_t$ (mg/L)	Perte (%)
1	39 000	830	37 700	1er essai 0	31,2	3,7
2	40 000	820	40 200	2e essai 0	1	0,1
				1	1	0,1
3	40 000	830	39 300	3e essai 0	1,2	0,1
				1	1,3	0,1
				2	1,3	0,1
				3	1,3	0,1
						$\bar{X} = 0,6$
				Boues traitées (kg poly/t boue sèche)	$P_t$ (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai 0	37 400	- 4,1
				2e essai 0	39 200	- 2,0
				3e essai 2	39 500	- 1,2
					$\bar{X} = 38 700$	- 2,4

Annexe 6b ii): Bilan sur le phosphore hydrolysable à 0,75 jour sur les boues de Cowansville

Essai	Alimentation (mg/kg boue sèche)	Réacteur (mg/L) (mg/kg boue sèche)		Filtrat (kg poly/t boue sèche)		P <sub>hydr</sub> (mg/L)	Perte (%)
		(mg/L)	(mg/kg boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)		
1	14 900	279	13 600	1er essai	0	0,5	- 0,2
					1	0,5	- 0,2
2	15 000	337	16 100	2e essai	0	0,5	- 0,1
					1	0,4	- 0,1
					2	0,5	- 0,1
					3	0,7	- 0,2
						$\bar{X} = - 0,15$	
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	P <sub>hydr</sub> (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	0	—	—
					1	14 500	- 2,6
				2e essai	0	16 900	+12,7
					1	16 100	+ 7,3
					2	15 300	+ 2,0
					3	15 900	+ 6,0
						$\bar{X} = 16 000$	+ 5,1

Annexe 6c i): Bilan sur le phosphore total à 1,5 jours sur les boues de Cowansville

Essai	Alimentation (mg/kg boue sèche)	Réacteur (mg/L)	Réacteur (mg/kg boue sèche)	Filtrat		P <sub>t</sub> (mg/L)	Perte (%)
					(kg poly/t boue sèche)		
1	18 500	344	18 000	1er essai	0	3,5	1
					1	3,5	1
					3	3,8	1
2	19 200	364	17 500	2e essai	0	2,8	0,8
					2	2,8	0,8
					4	2,8	0,8
							$\bar{X} = 0,9$
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	P <sub>t</sub> (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)
				1er essai	0	19 300	+ 4,3
					1	18 700	+ 1,1
					3	18 400	- 0,5
				2e essai	0	17 500	- 8,9
					1	—	
					3	17 200	-10,4
						$\bar{X} = 18 200$	- 2,9

Annexe 6c ii): Bilan sur le phosphore hydrolysable à 1,5 jours sur les boues de Cowansville

Essai	Alimentation (mg/kg boue sèche)	Réacteur		Filtrat		P <sub>hydr</sub> (mg/L)	Perte (%)	
		(mg/L)	(mg/kg boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)	(kg poly/t boue sèche)			
1	15 300	266	15 300	1er essai	0	2,2	- 0,8	
					1	3,8	- 1,4	
					3	2,2	- 0,8	
2	14 900	295	14 200	2e essai	0	1,9	- 0,6	
					1	1,7	- 0,6	
					3	0,3	- 0,1	
							$\bar{X} = - 0,7$	
				Boues traitées	(kg poly/t boue sèche)	P <sub>hydr</sub> (mg/kg boue sèche)	Perte ou gain (%)	
				1er essai	0	14 800	- 3,2	
						1	15 300	0
						3	14 100	- 7,8
				2e essai	0	15 200	+ 2,0	
						1	13 800	- 7,4
						3	15 000	+ 0,6
							$\bar{X} = 14 700$	
							- 2,8	

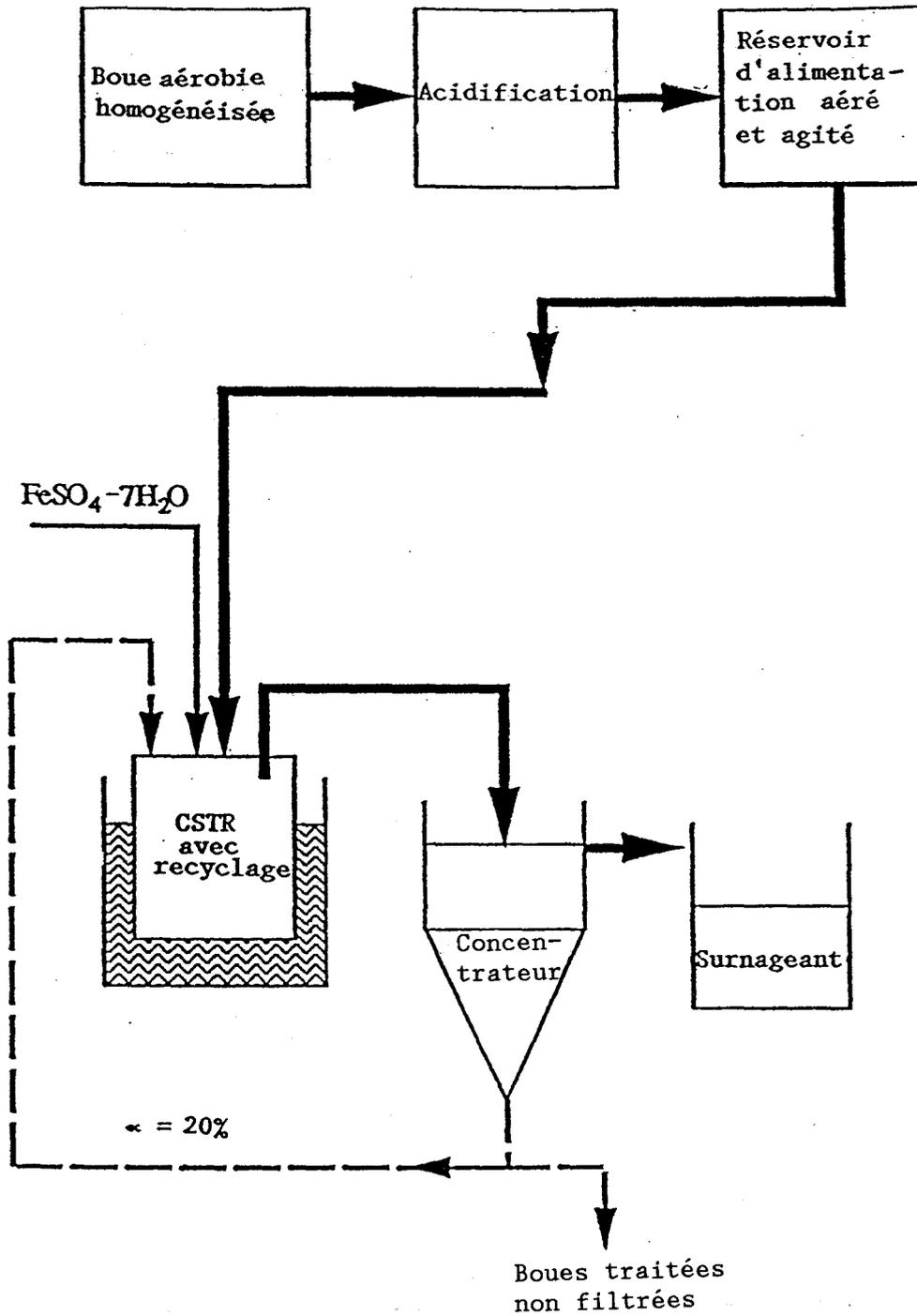


Figure 1.1: Schéma expérimental suivi.