

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**Institut national de la recherche scientifique**

**COUILLARD, Denis  
CHARTIER, Myriam  
MERCIER, Guy**

Rapport scientifique No. 366

Présenté au  
Centre Saint-Laurent

**Optimisation d'un procédé pour la  
solubilisation des métaux dans les  
sédiments**

**--- TOME I ---**

Université du Québec (INRS-Eau)  
2700, rue Einstein  
C.P. 7500  
Sainte-Foy, Québec  
G1V 4C7

Janvier 1993



## RÉSUMÉ

Dans la seconde partie du travail accompli pour le développement d'une technologie permettant la décontamination des sédiments du fleuve St-Laurent, divers essais en cuvée de 2 L ont été faits.

En regard des coûts d'applicabilité et des rendements d'enlèvement des métaux, le procédé choisi, parmi les procédés étudiés dans cette recherche, est un procédé de solubilisation biologique suivi d'une décantation et d'un traitement chimique. La solubilisation biologique est faite à partir d'ajout d'inoculum de thiobacilles (20% inoculum (v/v)) et d'ajout de sulfate ferreux (20% (p/p)). Le traitement chimique consiste en l'ajout de 0.08 mL  $\text{FeCl}_3$ /g sédiment sec aux sédiments qui ont été décantés. Le coût de ce procédé est de 28 \$/t sédiment sec. L'application de ce procédé avec les sédiments provenant du canal Lachine, a permis des enlèvements réels atteignant 52% pour le Pb, 77% pour le Zn, 69% pour le Cu et 4% pour le Cr . Le Ni n'a pas été enlevé par ce traitement en terme de concentration totale; d'autres essais devraient être faits pour cet élément. Pour ce qui est de la diminution de l'ion libre, elle est de 83.7% pour le Pb, 89.6% pour le Zn, 75.5% pour le Cu et 82.4% pour le Ni.



# TABLE DES MATIÈRES

	<u>Pages</u>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1-MATÉRIEL ET MÉTHODES.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Objectifs.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Matériel.....</b>	<b>6</b>
1.2.1 Optimisation du procédé par voie chimique.....	6
1.2.1a Essai avec $\text{FeCl}_3$ et $\text{HCl}$ .....	6
1.2.1b Essai avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ .....	8
1.2.2 Optimisation du procédé de solubilisation par voie biologique et/ou chimique.....	9
1.2.2.1 Solubilisation avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....	9
1.2.2.1a suivi d'une acidification au $\text{HCl}$ .....	9
1.2.2.1b suivi d'une décantation et d'un traitement au sel.....	10
1.2.2.1bi avec acidification des sédiments au départ (temps=0).....	10
1.2.2.1bii sans acidification des sédiments au départ (temps=0).....	11
1.2.2.1c suivi d'une décantation et d'un traitement au $\text{FeCl}_3$ (sans acidification au départ).....	12
1.2.2.2 Solubilisation avec une souche acclimatée au $\text{FeCl}_2$ .....	14
1.2.2.2a suivi d'une décantation et d'une acidification.....	14
<b>1.3 Mesures et échantillonnages.....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Analyse des solides totaux, volatils et inertes en suspension.....	15
1.3.2 Estimation de la solubilisation de la matière organique.....	16
1.3.3 Extraction séquentielle des métaux dans les sédiments.....	16
1.3.4 Détermination de la concentration de l'ion libre $\text{M}^{2+}$ ....	17

<b>Chapitre 2-ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS: OPTIMISATION DU PROCÉDÉ DE SOLUBILISATION DES MÉTAUX PAR VOIE BIOLOGIQUE ET/OU CHIMIQUE SUR DIFFÉRENTS SÉDIMENTS.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Choix du procédé potentiellement applicable.....</b>	<b>24</b>
2.1.1 Procédé de solubilisation avec $\text{FeCl}_3$ et $\text{HCl}$ .....	30
2.1.2 Procédé de solubilisation avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ .....	41
2.1.3 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et acidification des sédiments à pH 1.75 après 48 heures de traitement.....	45
2.1.4 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une décantation et d'un traitement au sel (acidification des sédiments au départ à pH 4).....	51
2.1.5 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une décantation et d'un traitement au sel (sans acidification des sédiments au départ).....	62
2.1.6 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une décantation et d'un traitement au $\text{FeCl}_3$ (sans acidification des sédiments au départ).....	65
2.1.7 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeCl}_2$ suivi d'une décantation et d'une acidification des sédiments à pH=1.75.....	70
2.1.8 Détermination du(es) procédé(s) potentiellement le(s) plus applicable(s).....	78
<b>2.2 Différents aspects concernant le(s) procédé(s) applicable(s).....</b>	<b>81</b>
2.2.1 La solubilisation de l'As, du P, du S, de l'Al, du Ca et du Mg.....	81
2.2.2 La solubilisation de la matière organique.....	82
<b>2.3 Effet de la décantation et du rinçage sur l'enlèvement des métaux.....</b>	<b>82</b>
<b>Chapitre 3-CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>87</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>93</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>99</b>

## LISTE DES FIGURES

	<u>Pages</u>
Figure 1.1 Essais en vue de l'optimisation du procédé d'enlèvement des métaux dans les sédiments du fleuve St-Laurent.....	7
Figure 3.1 Décontamination des sédiments.....	92

## LISTE DES TABLEAUX

### Pages

Tableau 2.1 Coût de l'enlèvement des métaux et de l'ion de remplacement $M^{2+}$ pour différents types de sédiments suite à l'application de divers traitements de solubilisation des métaux.....	25
Tableau 2.2 Suivi des métaux dans le sédiment #2 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et $FeCl_3$ .....	32
Tableau 2.3 Suivi des métaux dans le sédiment #3 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et $FeCl_3$ .....	32
Tableau 2.4 Suivi des métaux dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et $FeCl_3$ .....	32
Tableau 2.5 Suivi des métaux dans le sédiment #8 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et $FeCl_3$ .....	33
Tableau 2.6 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et $FeCl_3$ .....	33
Tableau 2.7 Répartition du Zn dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #2: traitement #1.....	34
Tableau 2.8 Répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #3: traitement #1.....	35
Tableau 2.9 Répartition du Fe dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #6: traitement #1.....	38
Tableau 2.10 Répartition du Ni et du Fe dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #8: traitement #1.....	38



Tableau 2.11 Répartition du Pb, Zn, Cu, Ni et Cr dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #1 (t après traitement=29h).....	39
Tableau 2.12 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (avec $\text{H}_2\text{O}_2$ ).....	43
Tableau 2.13 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (sans $\text{H}_2\text{O}_2$ ).....	43
Tableau 2.14 Suivi des métaux dans le sédiment #2 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une acidification au HCl après 45 heures.....	46
Tableau 2.15 Suivi des métaux dans le sédiment #3 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une acidification au HCl après 45 heures.....	46
Tableau 2.16 Suivi des métaux dans le sédiment #8 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une acidification au HCl après 71 heures.....	46
Tableau 2.17 Répartition du Zn dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #2: traitement #3 (t après traitement=52h).....	47
Tableau 2.18 Répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #3: traitement #3.....	48
Tableau 2.19 Répartition du Ni et du Fe dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #8: traitement #3 (t après traitement=72h).....	50
Tableau 2.20 Suivi des métaux dans le sédiment #3 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec	

une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une décantation et un traitement au sel après 46 heures.....	53
Tableau 2.21 Suivi des métaux dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une décantation et un traitement au sel après 46 heures.....	53
Tableau 2.22 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une décantation et un traitement au sel (0.5 M) après 46 heures.....	54
Tableau 2.23 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une décantation et un traitement au sel (0.2 M) après 46 heures.....	54
Tableau 2.24 Répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #3: traitement #4 (t après traitement=48h).....	55
Tableau 2.25 Répartition du Pb, Zn, Cu et Cd dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #6: traitement #4 (t après traitement=48h).....	57
Tableau 2.26 Répartition du Pb dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #1 et traitement #4.....	61
Tableau 2.27 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ complété par une décantation et un traitement au sel (0.5 M) sans acidification des sédiments au départ.....	64
Tableau 2.28 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	

complété par une décantation et un traitement au $\text{FeCl}_3$ (0.08 mL $\text{FeCl}_3$ /g séd. sec) sans acidification des sédiments au départ.....	66
Tableau 2.29 Répartition du Pb, Zn, Cu, Ni et Cr dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #6 (t après traitement=48h).....	67
Tableau 2.30 Suivi des métaux dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeCl}_2$ complété par une décantation et une acidification des sédiments à pH 1.75 avec HCl après 71 heures.....	72
Tableau 2.31 Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au $\text{FeCl}_2$ complété par une décantation et une acidification des sédiments à pH 1.75 avec HCl après 71 heures.....	72
Tableau 2.32 Répartition du Pb, Zn, Cu et Cd dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #6: traitement #7 (t après traitement=74h).....	73
Tableau 2.33 Répartition du Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #7.....	77

**LISTE DES ANNEXES**

	Page
Légende .....	101
Annexe 26a) <b>Solubilisation chimique des métaux avec acidification au HCl et FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2)</b> .....	103
Annexe 26b) <b>Suivi des métaux dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2)</b> .....	112
Annexe 26c) <b>Suivi de l'As et du Hg dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2)</b> .....	114
Annexe 26d) <b>Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MVS, MES) dans le surnageant des décantations faites sur les essais avec une solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd. sec à pH=2)</b> .....	115
Annexe 26e) <b>Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais avec une solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2)</b> .....	116
Annexe 26f) <b>Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2) (I,II,III,IV,V)</b> .....	117
Annexe 26g) <b>Détermination de la concentration de l'ion libre dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 solubilisés de façon chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd. sec à pH=2)</b> .....	122
Annexe 27a) <b>Solubilisation chimique des métaux avec FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O et FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments du canal Lachine avec ou sans H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> après 4 heures (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd. sec)</b> .....	123
Annexe 27b) <b>Suivi des métaux dans les sédiments #11 solubilisés de façon chimique avec FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec)</b> .....	126

**LISTE DES ANNEXES**

	Page
Annexe 27c) <b>Suivi de l'As et du Hg</b> dans les sédiments #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (0.082 mL $\text{FeCl}_3/\text{g}$ séd sec) .....	128
Annexe 27d) <b>Evaluation des solides totaux et volatils en suspension</b> (MVS, MES) dans le surnageant des décantations faites sur les essais où une solubilisation chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (0.082 mL $\text{FeCl}_3/\text{g}$ séd sec, séd. #11) a été appliquée .....	129
Annexe 27e) <b>Estimation de la solubilisation de la matière organique</b> d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais où une solubilisation chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (0.082 mL $\text{FeCl}_3/\text{g}$ séd sec, séd #11) a été appliquée .....	130
Annexe 27f) <b>Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux</b> dans les sédiments #11 solubilisés de façon chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (0.082 mL $\text{FeCl}_3/\text{g}$ séd sec) (I,II,III,IV,V) .....	131
Annexe 27g) <b>Détermination de la concentration de l'ion libre</b> dans les sédiments #11 solubilisés de façon chimique avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$ (0.082 mL $\text{FeCl}_3/\text{g}$ séd sec) ..	132
Annexe 28a) <b>Solubilisation des métaux</b> à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8 .....	133
Annexe 28b) <b>Suivi des métaux</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8 .....	139
Annexe 28c) <b>Suivi de l'As et du Hg</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8 .....	141
Annexe 28d) <b>Evaluation des solides totaux et volatils en suspension</b> (MVS, MES) dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8 .....	142

**LISTE DES ANNEXES**

Page

Annexe 28e)	Estimation de la <b>solubilisation de la matière organique</b> d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #3, #8 .....	143
Annexe 28f)	<b>Différentes phases lors de l'extraction sélective</b> des dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8 (I,II,III,IV,V) .....	144
Annexe 28g)	<b>Détermination de la concentration de l'ion libre</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8 .....	149
Annexe 29a)	Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une <b>décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments avec acidification des sédiments dès le départ (séd. #3,#6,#11) .....	150
Annexe 29b)	<b>Suivi des métaux</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une <b>décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification des sédiments au départ .....	159
Annexe 29c)	<b>Suivi de l'As et du Hg</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une <b>décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification des sédiments au départ .....	163
Annexe 29d)	Evaluation des <b>solides totaux et volatils en suspension</b> (MVS, MES) dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une <b>décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification des sédiments au départ .....	164

LISTE DES ANNEXES

Page

Annexe 29e)	<b>Estimation de la solubilisation de la matière organique</b> d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #6, #11 avec acidification des sédiments au départ .....	165
Annexe 29f)	<b>Différentes phases lors de l'extraction sélective</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ (I, II, III, IV, V) .....	166
Annexe 29g)	<b>Détermination de la concentration de l'ion libre</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ .....	171
Annexe 30a)	Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ .....	172
Annexe 30b)	<b>Suivi des métaux</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dans les sédiments #11 suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> sans acidification des sédiments au départ (séd#11) ..	178
Annexe 30c)	<b>Suivi de l'As et du Hg</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dans les sédiments #11 suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> sans acidification des sédiments au départ .....	180
Annexe 30d)	Evaluation des <b>solides totaux et volatils en suspension</b> (MVS, MES) dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dans les sédiments #11 suivi <b>d'une décantation et d'un traitement au sel</b> sans acidification des sédiments au départ .....	181

**LISTE DES ANNEXES**

Page

Annexe 30e)	<p><b>Estimation de la solubilisation de la matière organique</b> d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au sel sans acidification des sédiments au départ ..... 182</p>	182
Annexe 30f)	<p><b>Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux</b> dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ (I,II,III,IV,V) ..... 183</p>	183
Annexe 30g)	<p><b>Détermination de la concentration de l'ion libre</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au sel sans acidification des sédiments au départ ..... 188</p>	188
Annexe 31a)	<p><b>Solubilisation des métaux</b> à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> suivi d'une décantation et d'un traitement au <math>\text{FeCl}_3</math> sans acidification des sédiments au départ (séd.#11) ..... 189</p>	189
Annexe 31b)	<p><b>Suivi des métaux</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au <math>\text{FeCl}_3</math> sans acidification des sédiments au départ ..... 194</p>	194
Annexe 31c)	<p><b>Suivi de l'As et du Hg</b> dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> suivi d'une décantation et d'un traitement au <math>\text{FeCl}_3</math> dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ ..... 195</p>	195
Annexe 31d)	<p><b>Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MVS, MES)</b> dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au <math>\text{FeCl}_3</math> sans acidification des sédiments au départ ..... 196</p>	196



LISTE DES ANNEXES

Page

Annexe 31e) **Estimation de la solubilisation de la matière organique** d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  sans acidification des sédiments au départ ..... 197

Annexe 31f) **Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux** dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ (I,II,III,IV,V) ..... 198

Annexe 31g) **Détermination de la concentration de l'ion libre** dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  sans acidification des sédiments au départ ..... 203

Annexe 32a) Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_2$  dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification ..... 204

Annexe 32b) **Suivi des métaux** dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_2$  dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification ..... 208

Annexe 32c) **Suivi de l'As et du Hg** dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_2$  dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification ..... 210

Annexe 32d) Evaluation des **solides totaux et volatils en suspension** (MVS, MES) dans le surnageant des décantation des essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_2$  dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification ..... 211

Annexe 32e) Estimation de la **solubilisation de la matière organique** d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_2$  dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification ..... 212

LISTE DES ANNEXES

Page

Annexe 32f)	<b>Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux</b> dans les essais de solubilisation à partir d'une <b>souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub></b> dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification (I,II,III,IV,V) ..... 213
Annexe 32g)	<b>Détermination de la concentration de l'ion libre</b> dans les essais de solubilisation à partir d'une <b>souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub></b> dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification ..... 218
Annexe 33	Equations ayant servi au calcul de la concentration de P soluble total dans les sédiments ..... 219
Annexe 34	Normes recommandées par Environnement Canada (1978) quant à la teneur en métaux dans les sédiments du fleuve St-Laurent ..... 220

## INTRODUCTION

La première partie de ce travail accomplie à l'INRS-Eau dans le cadre d'un programme subventionné conjointement par le centre St-Laurent et le CRSNG, et visant le développement de technologie nouvelle assurant la décontamination des sédiments, a permis de cerner les divers facteurs influençant la solubilisation biologique et chimique dans les sédiments (voir Développement d'un procédé pour l'enlèvement des métaux dans les sédiments: revue de la documentation et étude des facteurs affectant la solubilisation des métaux). Dans ce second rapport sur le sujet, l'optimisation du procédé, jugé potentiellement applicable dans le premier rapport, a été visée. C'est donc les essais les plus performants du premier rapport, avec l'ajout de réactifs supplémentaires dans certains cas, qui ont été refaits en cuvée de 2 L dans ce second rapport. Outre les résultats qui sont traités et analysés au second chapitre, le présent rapport comporte la méthodologie utilisée pour les essais, et se termine par les conclusions et recommandations des auteurs.

Parallèlement aux essais de décontamination, l'extraction sélective a été effectuée sur les sédiments traités, afin de déterminer la concentration des métaux sous forme d'ion libre, qui est considérée comme la forme la plus toxique. L'enlèvement des métaux sous cette forme, suite à l'application du procédé de décontamination, est comparé à l'enlèvement des métaux en terme de concentration totale. Les résultats traités dans ce travail ont fait entre autres l'objet d'un mémoire de maîtrise (Chartier, 1992).



**CHAPITRE 1**  
**MATÉRIEL ET MÉTHODES**



## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1 Objectifs

Comme il a été vu dans le premier rapport (voir Développement d'un procédé d'enlèvement des métaux dans les sédiments: revue de la documentation et étude des facteurs affectant la solubilisation des métaux), cette recherche a pour but de développer un procédé de décontamination des métaux dans les sédiments contaminés du fleuve St-Laurent. Les différents essais traités dans ce rapport répondent aux objectifs plus spécifiques suivants:

- 1-Évaluer les pourcentages de solubilisation des métaux par voie biologique et/ou chimique dans des réacteurs de 2000 mL;
- 2-Évaluer la réponse de divers types de sédiments aux différents traitements de solubilisation appliqués;
- 3-Évaluer l'efficacité de différents types de souches bactériennes acclimatées à divers substrats;
- 4-Étudier l'efficacité des différents types d'acidification et de traitements;
- 5-Évaluer l'effet d'une décantation et/ou d'une acidification en fin de traitement sur la solubilisation des métaux;
- 6-Évaluer les effets du rinçage avec de l'eau en fin de procédé sur les rendements de solubilisation des métaux;
- 7-Évaluer la qualité de la décantation suite aux traitements de solubilisation des métaux;
- 8-Évaluer la filtrabilité des sédiments traitées;
- 9-Faire un bilan sur les métaux restant dans les sédiments suite à la séparation solide-liquide;

10-Déterminer la concentration de l'ion  $M^{2+}$  afin de quantifier et de qualifier la décontamination des sédiments; et,

11-Déterminer le procédé potentiellement le plus applicable en regard des coûts et du rendement d'enlèvement des métaux.

La figure 1.1 illustre les différents essais expérimentés.

## 2.2 Matériel

Les caractéristiques et la provenance des sédiments, les types de substrat employés de même que les diverses souches bactériennes utilisées sont décrites dans les sections 2.2.1 à 2.2.3 du chapitre matériel et méthodes du premier rapport (voir Développement d'un procédé pour l'enlèvement des métaux dans les sédiments: revue de la documentation et étude des facteurs affectant la solubilisation des métaux). Pour ce second rapport qui rapporte les travaux reliés à l'optimisation du procédé de solubilisation des métaux dans les sédiments, le montage expérimental suivi est le même que celui déjà décrit dans le premier rapport, sauf que les essais ont été faits en cuvette de 2 L. Pour la majorité des essais, les expériences ont été réalisées en duplicata.

### 1.2.1 Optimisation du procédé par voie chimique

Dans cette partie, différents sédiments ont été expérimentés (#2, #3, #6, #8, #11) et les essais ont été faits en cuvette de 2L à la température de la pièce. La teneur en solides totaux est de 3%.

#### 1.2.1a) Essai avec $FeCl_3$ et HCl



T : TEMPS  
 ACID.: ACIDIFICATION  
 DEC.: DECANTATION

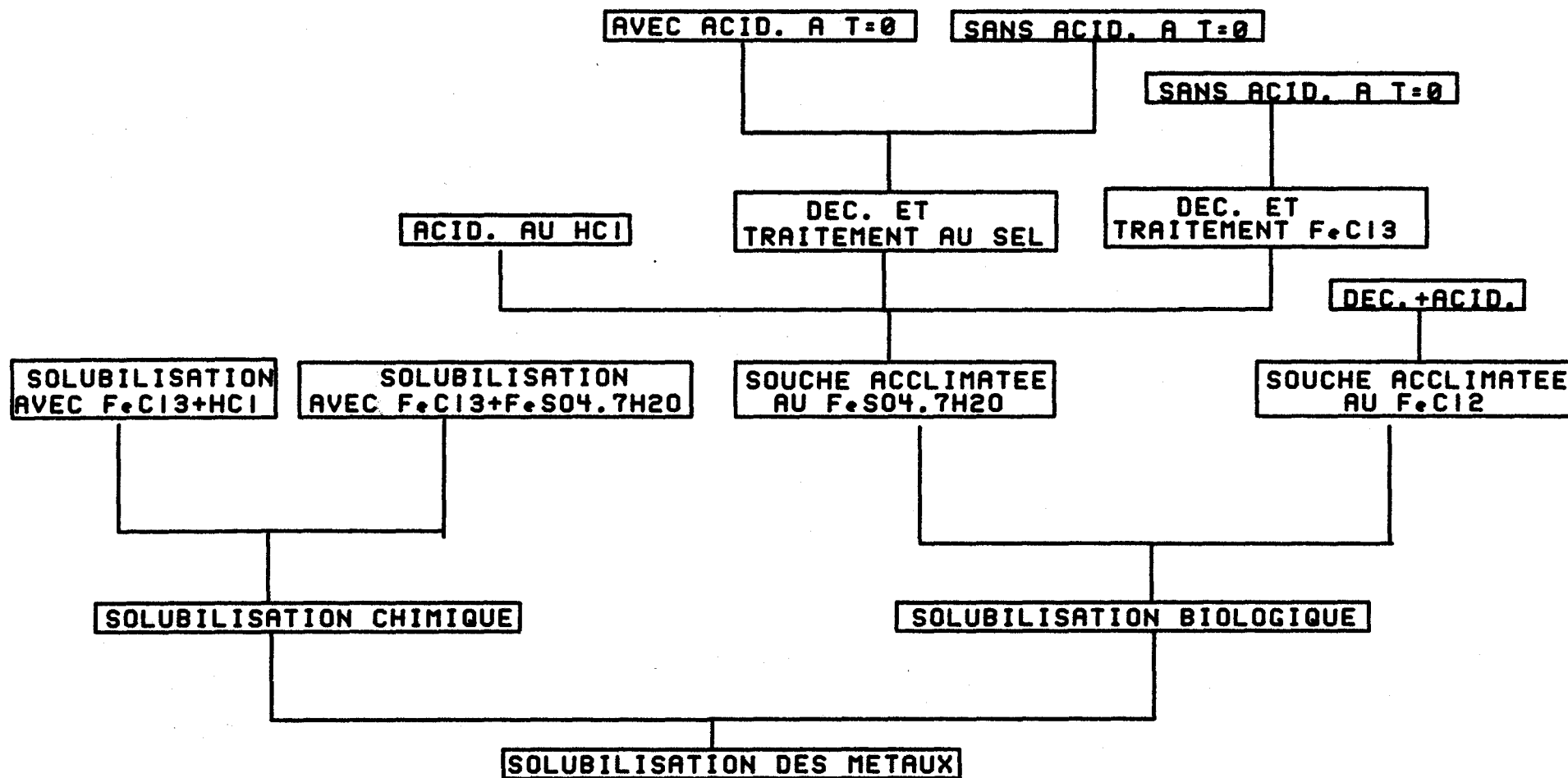


FIGURE 1.1: ESSAIS EN VUE DE L'OPTIMISATION DU PROCÉDE D'ENLEVEMENT DES METAUX DANS LES SEDIMENTS DU FLEUVE ST-LAURENT

Lors des essais d'optimisation de la solubilisation chimique des métaux continus dans les sédiments, 10 cuvées ont été expérimentées avec acidification des sédiments au chlorure ferrique et HCl. Le  $\text{FeCl}_3$  est ajouté à chacun des sédiments à une concentration de 0.082 mL  $\text{FeCl}_3$ /g sédiment sec, puis les sédiments sont acidifiés et maintenus à pH=2 avec HCl tout au long des essais. Les sédiments traités en duplicata sont les sédiments #2, #3, #6, #8 et #11. De plus une seconde série d'essais, toujours en duplicata, a été refaite avec les sédiments #2, #3 et #11. Après 24 heures d'expérimentation, les sédiments de chacune des cuvées sont décantés. Le volume du surnageant est remplacé par un volume égal d'eau distillée. Les sédiments sont alors acidifiés à pH=2 avec  $\text{HNO}_3$ . Puis l'expérience s'est poursuivie durant 24 heures supplémentaires. Les résultats sont présentés aux annexes 26a, b, c.

#### 1.2.1b) Essai avec $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeCl}_3$

Deux essais de solubilisation chimique ont été faits avec le sédiment #11, auquel 20% (p/p) de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  a été ajouté. Après 5 heures d'expérimentation, les sédiments sont décantés. Le volume du surnageant est remplacé par un volume d'eau distillée permettant de revenir au volume d'avant la décantation. Dans l'un des essais 4.5% de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (v/v) est ajouté. Puis 0.082 mL  $\text{FeCl}_3$ /g sédiment sec est rajouté dans chacun des essais. L'expérience se poursuit sur une période de 2 heures et se termine par une seconde décantation suivie d'un rinçage avec un volume d'eau distillée acidifiée à pH=3

avec HCl, égal à deux fois celui des sédiments traités et décantés. Les résultats sont présentés aux annexes 27a, b ,c.

### 1.2.2 Optimisation du procédé de solubilisation par voie biologique et/ou chimique.

Dans cette partie, différents sédiments (#2, 3, #6, #8, #11) ont été traités par des procédés de solubilisation biologique suivis de traitement de solubilisation chimique. Les essais ont été faits en cuvée de 2 L à la température de la pièce, en duplicata pour la majorité de ceux-ci. Le pourcentage de solides totaux est de 3%. L'inoculum utilisé a préalablement été acclimaté à chacun des sédiments. Les substrats  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_2$  ont été utilisés dans le but d'évaluer l'influence des ions sulfates et chlorures sur l'enlèvement du Pb. La capacité du chlorure ferreux d'augmenter le potentiel-rédox a aussi été utilisée dans le but de favoriser la solubilisation des métaux . Le sel a été utilisé afin d'évaluer l'effet des ions chlorures sur la solubilité du Pb.

#### 1.2.2.1 Solubilisation avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Pour les essais inclus dans cette section, la solubilisation biologique des métaux a été faite à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Suite à la solubilisation biologique, i.e. après 46 et 72 heures, différents traitements détaillés dans chaque sous-section ont été appliqués.

##### 1.2.2.1a) suivie d'une acidification au HCl

Les essais de solubilisation biologique des métaux dans les sédiments #2, #3 et #8 pendant une période de 97 heures, ont été faits à partir d'une souche de thiobacilles acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Les différents sédiments sont acidifiés à  $\text{pH}=4$  avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Un volume d'inoculum de 20% (v/v) est ajouté ainsi que 5% (p/p)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (substrat). Après 46 heures d'expérimentation, les sédiments #2 et #3 sont acidifiés à  $\text{pH} 1.75$  avec  $\text{HCl}$ . Pour les sédiments #8, l'acidification à  $\text{pH}= 1.75$ , se fait après 72 heures. Les résultats sont présentés aux annexes 28a, b, c.

1.2.2.1b) suivie d'une décantation et d'un traitement au sel  
1.2.2.1bi) avec acidification des sédiments au départ (temps=0)

Lors de ces essais, les sédiments #3, #6 et #11 ont d'abord subi un traitement de décontamination biologique. Les sédiments sont acidifiés à  $\text{pH}=4$  avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Puis 20% d'inoculum (v/v) est ajouté, ainsi que 5%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p). Après 48 heures, les sédiments sont décantés. Le volume du surnageant est alors remplacé par deux fois le volume des sédiments traités et décantés avec une solution de 0.5 M de  $\text{NaCl}$ . Dans le cas du sédiment #11, un seconde série d'essais a été faite avec une solution de  $\text{NaCl}$  0.2 M.

Puis avec brassage et pendant une période de 300 minutes dans le cas des sédiments #3, #6 et un des essais avec les sédiments #11 et pendant 1260 minutes pour les trois autres essais avec le sédiment #11, des échantillons de sédiments on été prélevés pour évaluer la quantité de métaux solubilisée. Après cette période de

300 et 1260 minutes, les sédiments sont décantés. Le volume du surnageant est remplacé par un volume d'eau distillée égal à celui des sédiments traités et décantés (1<sup>er</sup> rinçage). Après un brassage de 15 minutes, une seconde décantation est faite. Et le surnageant est encore une fois remplacé par un volume d'eau distillée égal à celui des sédiments traités et décantés (2<sup>ième</sup> rinçage). Les sédiments sont de nouveau brassés 15 minutes, puis filtrés. Les résultats sont présentés aux annexes 29a, b et c.

1.2.2.1bii) sans acidification des sédiments au départ (temps=0)

1<sup>ère</sup> série

Un essai de solubilisation biologique des métaux à partir de thiobacilles acclimatées au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  mais sans acidification préalable des sédiments au temps 0 suivi d'un traitement au sel, a également été fait. Dans cet essai, c'est le sédiment #11 qui a été traité. Les sédiments sont d'abord traités par voie biologique; i.e. que 20% d'inoculum (v/v) ainsi que 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p) sont ajoutés aux sédiments. Après 31 heures, un autre 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p) est ajouté et après 48 heures de brassage les sédiments sont décantés. Le volume du surnageant est remplacé par un volume d'une solution de NaCl de 0.5 M qui permet de revenir au volume d'avant la décantation. Pendant une période de deux heures avec brassage, des échantillons de sédiments pour les métaux sont prélevés. Puis les sédiments sont de nouveau décantés. Le volume du surnageant est remplacé par un volume d'eau distillée (pH=3 avec

HCl), égal à deux fois celui des sédiments décantés. Puis les sédiments sont filtrés.

Parallèlement à ces deux essais, 3 essais contrôles ont été faits, où seulement les paramètres pH et POR étaient suivis. Dans deux des essais contrôles, les sédiments ont été stérilisés à l'autoclave et l'autre essai est non-stérile. Dans chacun des contrôles, 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p) a été ajouté. Et après 24 heures de brassage, la même quantité de sulfate ferreux (10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  p/p) a de nouveau été ajoutée. Les résultats sont présentés aux annexes 30a, b et c.

### 2<sup>ième</sup> série

Un essai sans inoculation avec 10% de sulfate ferreux (p/p) et un autre avec inoculation (20% v/v) et 10% de sulfate ferreux (p/p) ont été faits dans cette deuxième série d'expérience pour lesquelles le volume de départ était à 200 mL. Après 48 et 72 heures, des traitements différents ont été appliqués aux échantillons. Celui qui est inoculé a été divisé en 2 volumes. Dans le premier, après une décantation, le volume du surnageant est remplacé par deux fois le volume des sédiments traités avec une solution de NaCl, 1 M. Dans le second cas, après 72 heures, 10% (p/p)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  est ajouté et les sédiments sont décantés. Le volume du surnageant est remplacé par un volume d'une solution de NaCl (1 M) égal au double du volume des sédiments décantés. Les résultats sont présentés aux annexes 30 a, b, c.

1.2.2.1c) suivie d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$

(sans acidification au départ)

### 1<sup>ère</sup> série

Un essai de solubilisation des métaux à partir de souches acclimatées au sulfate ferreux mais sans acidification, au temps=0, des sédiments, et suivi dans ce cas-ci d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  a aussi été fait. Dans cet essai, c'est le sédiment #11 qui a été utilisé. Les sédiments sont d'abord traités par voie biologique; i.e. que 20% d'inoculum (v/v) ainsi que 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p) sont ajoutés aux sédiments. Après 31 heures, un autre 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p) est ajouté à chacun des sédiments et, après 48 heures de brassage, les sédiments sont décantés.

Le volume d'eau du surnageant est remplacé par un volume d'eau distillée contenant 0.082 mL  $\text{FeCl}_3$ /g sédiment sec, qui permet de revenir au volume d'avant décantation, et dans lequel la quantité de sédiment sec est de 30 g (i.e. 1000 mL à 3% ST). Sur une période de deux heures, des échantillons de sédiments sont prélevés pour mesurer les métaux. Puis les sédiments sont de nouveau décantés. Le volume du surnageant est remplacé par deux fois le volume des sédiments décantés avec l'eau distillée (pH=3 avec HCl). Enfin les sédiments sont filtrés. Les résultats sont présentés aux annexes 31a, b et c.

### 2<sup>ème</sup> série

Un essai avec inoculation (20% v/v) et 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p) a été fait dans cette deuxième série d'expériences (volume de départ=200 mL). Après 48 et 72 heures, les échantillons ont été divisés en 2 et cet essai a été suivi de différents traitements.

Dans le premier cas, après 48 heures, 20% de sulfate ferreux est ajouté et, 24 heures plus tard, les sédiments sont décantés. Le volume du surnageant est remplacé par 2 fois le volume des sédiments décantés en eau distillée. Puis 0.082 mL  $\text{FeCl}_3/\text{g}$  sédiment sec est ajouté. Ici la quantité de sédiment sec correspond à 3 g. Le deuxième cas est identique au premier, sauf que 0.041 mL  $\text{FeCl}_3/\text{g}$  sédiment sec sont rajoutés au lieu de 0.082. Les résultats sont présentés aux annexes 31a, b et c.

#### 1.2.2.2 Solubilisation avec souche acclimatée au $\text{FeCl}_2$

##### 1.2.2.2a) suivie d'une décantation et d'une acidification

Deux expériences de solubilisation biologique ont été faites à partir de souches acclimatées au  $\text{FeCl}_2$  avec les sédiments #6 et #11. Les sédiments sont préalablement acidifiés à pH=4 avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , puis 20% d'inoculum acclimaté au  $\text{FeCl}_2$  dans des sédiments acidifiés avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ainsi que 2% Fe (p/p) avec  $\text{FeCl}_2$  est ajouté. Après 48 heures pour le sédiment #11 et 72 heures pour le sédiment #6, les sédiments sont décantés et acidifiés à pH=1.75 avec HCl. L'expérience s'est poursuivie pendant 95 heures. Les résultats sont présentés aux annexes 32a, b et c.

### 1.3 Mesures et échantillonnage

La prise des paramètres pH et POR de même que les techniques utilisées pour l'analyse des métaux et du P, S et C ont déjà été décrites aux sections 2.3.1 et 2.3.2 du chapitre matériel et



méthodes du premier rapport (voir Développement d'un procédé pour l'enlèvement des métaux dans les sédiments: revue de la documentation et étude des facteurs affectant la solubilisation des métaux). En plus des autres métaux, le mercure et l'arsenic ont également été suivis dans la dernière partie de la recherche. Le Hg et l'As ont été déterminés dans les sédiments au départ, dans chaque essai au temps 0, et après l'application du traitement d'enlèvement des métaux, ainsi que dans la fraction solubilisée dans le filtrat. La détermination du mercure a été faite par un générateur d'hydrure (vapeur froide) selon les directives de l'APHA (1985) no303F. L'As est déterminé selon la méthode no303E (i.e. avec le réactif  $\text{NaBH}_4$ ) de l'APHA (1985), après une digestion des sédiments au  $\text{HNO}_3$  repris dans HCl 5%.

L'analyse des solides totaux, volatils et inertes dans les sédiments, la détermination du carbone total, de l'azote total et du soufre total contenus dans les sédiments, de même que celle de la granulométrie, ont été faites selon des techniques déjà décrites dans les sections 2.3.3, 2.3.4 et 2.3.5 du premier rapport.

### 1.3.1 Analyse des solides totaux, volatils et inertes en suspension

Dans la dernière partie de ce rapport, la qualité de la décantation pratiquée à la fin de certains essais est déterminée par la concentration des solides totaux, volatils et inertes en suspension. La méthode suivie est celle de l'APHA (1985) no 209c et 209d. Les solides totaux sont le résidu sec retenu sur le filtre après séchage à 105°C. Les solides volatils sont la

fraction volatilisée après 20 minutes à 550°C, alors que les solides inertes sont la fraction restante sur le filtre Whatman GFC. Les résultats sont présentés aux annexes 26 à 32d.

### 1.3.2 Estimation de la solubilisation de la matière organique

Une estimation de la matière organique solubilisée par le traitement de solubilisation des métaux a été faite pour certains essais. Le contenu en matière volatile, trouvé par chauffage des sédiments à 550°C au début de l'essai est comparé à celui de la fin de l'essai. La méthode suivie est la même que celle des solides volatils (méthode 209f; APHA, 1985). Les résultats sont présentés aux annexes 26 à 32e.

### 1.3.3 Extraction séquentielle des métaux dans les sédiments

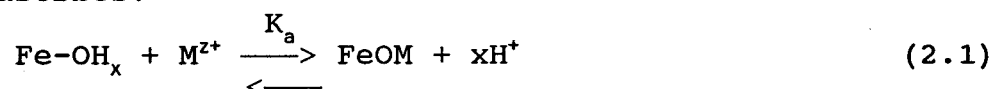
Le lessivage sélectif des sédiments du Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn a été fait dans différentes phases définies selon un protocole expérimental (Tessier et al., 1979). Soit la phase échangeable et acido-soluble (1 M NaOAc et pH=5 avec HOAc), la phase liée au hydroxyde de Fe et Mn (NH<sub>2</sub>OH dans 25% HOAc, pH=2), la phase oxydable (liée à la matière organique et aux sulfures avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/HNO<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub>OAc) et la phase résiduelle (HF-HClO<sub>4</sub>). La méthode d'extraction suivie est celle de Tessier et al.(1979). Les résultats d'extraction séquentielle sont présentés aux annexes 26 à 32f.

#### 1.3.4 Détermination de la concentration de l'ion libre $M^{z+}$

La détermination de la concentration de l'ion libre  $M^{z+}$  a été faite avant et après les traitements d'enlèvement des métaux. Ceci dans le but d'évaluer un changement dans la teneur et spéciation des métaux contenus dans les sédiments suite à l'application du traitement d'enlèvement des métaux. Ce changement qui est évalué par une différence dans la concentration des ions libres n'est pas nécessairement corrélé à la teneur totale en métaux des sédiments. C'est donc plus la biodisponibilité des métaux ou leur toxicité, qui est évaluée ici, plutôt que la concentration totale en métaux.

Toutefois, une mise en garde doit être faite: la méthode qui a été utilisée pour calculer la concentration de l'ion libre est encore au stade de recherche. Il est fort possible que dans l'avenir, certains correctifs soient apportés à cette méthode, changeant par le fait même les méthodes de calcul ou encore les hypothèses posées au départ. De même, pour l'application de cette méthode à la détermination des métaux dans les sédiments contaminés, certaines hypothèses ont été posées. Ainsi le pH du site de prélèvement des sédiments dans le fleuve est utilisé dans le calcul de  $M^{z+}$  avant et après le traitement de décontamination. On suppose ici, que le rejet des sédiments décontaminés à leurs sites de prélèvement n'entraînerait pas de changement dans le pH du milieu ambiant. L'hypothèse selon laquelle les teneurs en Pb, Ni, Cu et Zn sont corrélées à la concentration en hydroxyde de fer des sédiments, alors que celle du Cd serait plutôt corrélée à la teneur en matière organique du sédiment, est retenue.

La détermination de l'ion libre  $M^{z+}$  a été faite via l'obtention de constante de sorption *in situ* (Tessier, 1992; Tessier et al., 1992). En prenant pour acquis que les oxyhydroxydes de fer naturels sont surtout responsables de la sorption des métaux et qu'un seul site par oxyhydroxyde de fer est occupé par les ions métalliques adsorbés:



$$K_a = \frac{\{\text{FeOM}\} [\text{H}^+]^x}{\{\text{FeOH}_x\} [M^{z+}]} \quad (2.2)$$

où  $k_a$  est la constante d'équilibre globale apparente;  $x$  est le nombre apparent moyen de protons libérés au cours de la réaction;  $\{\text{FeOH}_x\}$  représente la concentration de sites libres sur les oxyhydroxydes de Fe en phase solide; et  $\{\text{FeOM}\}$  correspond à la concentration de sites occupés par M (métal) sur les oxyhydroxydes de Fe en phase solide. Ces valeurs ( $\{\text{FeOH}_x\}$  et  $\{\text{FeOM}\}$ ) sont déterminées par extraction sélective (Tessier et al., 1979). Les symboles  $\{ \}$  et  $[ \ ]$  réfèrent ici à des espèces sous forme solide et des espèces en phase aqueuse respectivement. Si la concentration des sites occupés est faible comparée à la concentration des sites libres:

$$\{\text{Fe-OH}_x\} \approx \{\text{Fe-O}\}_{\text{total}} \quad (2.3)$$

où  $\{\text{Fe-O}\}_{\text{total}}$  représente la concentration totale des sites d'absorption et

$$\{\text{Fe-O}\}_{\text{total}} = N_{\text{Fe}} \{\text{Fe-O}_x\} \quad (2.4)$$

où  $N_{\text{Fe}}$  est le nombre de moles de sites d'absorption par mole de Fe et  $\{\text{Fe-O}_x\}$  correspond à la concentration analytique d'oxyhydroxyde

de Fe (en ug/g).

Si  $\text{Fe-OH}_x$  est remplacé par  $(N_{\text{Fe}} \{ \text{Fe-O}_x \})$  comme le permet l'équation (2.3) et (2.4), alors l'équation (2.2) devient;

$$K_a = \frac{\{ \text{FeOM} \} [\text{H}^+]^x}{N_{\text{Fe}} \{ \text{Fe-O}_x \} [\text{M}^{2+}]} \quad (2.5)$$

et alors, il est possible de poser:

$$K = \frac{\{ \text{FeOM} \}}{\{ \text{FeO}_x \} [\text{M}^{2+}]} = \frac{N_{\text{Fe}} K_a}{[\text{H}^+]^x} \quad (2.6)$$

où K est la constante apparante d'équilibre qui est fonction du pH.

Si l'équation 2.6 est linéarisée, il est possible d'obtenir:

$$\log K = x\text{pH} + \log (N_{\text{Fe}} K_a) \quad (2.7)$$

Pour tracer le graphique correspondant à l'équation (2.7), les termes du centre de l'équation (2.6), i.e.  $\{ \text{FeOM} \}$ ,  $\{ \text{FeO}_x \}$  et  $[\text{M}^{2+}]$  pour chacun des sites d'échantillonnage sont utilisés. Ces termes permettent d'évaluer K et, à partir du pH de chaque site d'échantillonnage, il est possible de tracer un graphique de K en fonction du pH où x correspond à la pente et  $\log (N_{\text{Fe}} * K_a)$  à l'ordonnée à l'origine. Les valeurs de  $\text{M}^{2+}$  sont obtenues *in situ* par dialyse dans plusieurs sites d'échantillonnage, les fractions  $\{ \text{Fe-OM} \}$  et  $\{ \text{Fe-OH}_x \}$  sont trouvés par extraction sélective (Tessier et al., 1979) sur les différents sédiments correspondant à chacun des sites d'échantillonnages .

Par la suite de nouvelles valeurs de  $\text{M}^{2+}$  correspondant à d'autres sédiments peuvent être déterminées à partir de ce graphique si le pH des eaux et la concentration des phases  $\{ \text{Fe-OM} \}$  et  $\{ \text{Fe-OH}_x \}$  extraites de ces sédiments sont connues (voir équation 2.8).

$$[M^{z+}] = \frac{\{FeOM\} [H^+]^x}{\{FeO_x\} (N_{Fe} K_a)} \quad (2.8)$$

Dans cette équation (provenant de l'équation 2.6 remaniée), les valeurs de  $(N_{Fe} K_a)$  et  $x$  sont celles obtenus avec la méthode appliquée au paragraphe précédant (i.e. l'ordonnée à l'origine et la pente du graphique). Pour calculer  $M^{z+}$  dans ce travail, la concentration des phases  $\{Fe-OM\}$  et  $\{Fe-OH_x\}$  extraites des différents sédiments étudiés a été déterminées par extraction sélective (voir les annexes 26 à 32 f); les valeurs de  $(N_{Fe} K_a)$  et  $x$  utilisées proviennent des travaux de Tessier et al. (1992) et Tessier (1992); et le pH est celui correspondant au site de prélèvement respectif de chaque sédiment.

## **CHAPITRE 2**

### **ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS: OPTIMISATION DU PROCÉDÉ DE SOLUBILISATION DES MÉTAUX PAR VOIE BIOLOGIQUE ET/OU CHIMIQUE SUR DIFFÉRENTS SÉDIMENTS**





**ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS :**  
**OPTIMISATION DU PROCÉDÉ DE SOLUBILISATION DES MÉTAUX**  
**PAR VOIE BIOLOGIQUE ET/OU CHIMIQUE SUR DIFFÉRENTS**  
**SÉDIMENTS**

Un des buts de ce travail de recherche est de déterminer le procédé de solubilisation des métaux des sédiments, potentiellement les plus applicables, en regard du rendement de solubilisation et des coûts d'application. Les différents essais effectués en cuvée de 500 mL (voir chapitre 3 du premier rapport), en plus de déterminer l'influence de divers facteurs sur la solubilisation des métaux, ont permis d'explorer différentes combinaisons de procédés de solubilisation biologique et chimique. Les procédés potentiellement intéressants ont été retenus (voir 3.1.3.3 et 3.2.4.3 du premier rapport) et refaits en cuvée de 2 L (voir annexe 26 à 32), avec des sédiments d'origine différentes. Ceci afin d'être plus en mesure d'évaluer l'effet de différents types de sédiment et des teneurs variables en métaux. Ce sont ces résultats qui sont présentés dans ce chapitre.

Ce chapitre peut-être divisé en deux parties. Dans la première partie, le(s) procédé(s) potentiellement le(s) plus applicable(s) sera(ont) déterminé(s). Dans la seconde partie, divers aspects ayant trait à l'application du procédé(s) choisi(s) seront étudiés

de plus près.

### 2.1 Choix du (des) procédé(s) potentiellement applicable(s)

Le tableau 2.1 résume le coût des différentes options, de même que l'efficacité d'enlèvement des métaux contenus dans les sédiments où leur teneur est deux fois supérieure à la norme recommandée par Environnement Canada, 1978 (voir annexe 34). Les différents essais expérimentés jusqu'à maintenant (voir chapitre 3 du premier rapport) ont permis de retenir trois procédés potentiellement applicables. Il s'agit du procédé chimique avec HCl et  $\text{FeCl}_3$  et des procédés biologiques à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_3$ . Pour les deux procédés biologique, en fin de traitement, les essais sont acidifiés à  $\text{pH}=1.75$  avec HCl.

De plus, il a été jugé utile d'évaluer dans le cadre du traitement #2, l'effet oxydant du  $\text{H}_2\text{O}_2$  sur la solubilisation chimique des métaux. Suite au traitement biologique, la décantation des sédiments traités suivis de différents essais de solubilisation des métaux à partir de NaCl et  $\text{FeCl}_3$ , ont été faits (voir traitement #4, #5 et #6). Le NaCl a été utilisé suite aux résultats obtenus par Legiec et al. (1989a,b) sur les cendres d'incinérateurs. Enfin les propriétés oxydantes du fer ferrique comme agent lixiviant rend le  $\text{FeCl}_3$  intéressant pour la solubilisation des métaux.

Les résultats de solubilisation ont été suivis sous forme

Tableau 2.1.

Coût de l'enlèvement des métaux et de l'ion de remplacement  $M^{Z+}$  pour différents types de sédiments suite à l'application de divers traitements de solubilisation des métaux.

Métaux dans sédiment avant traitement (mg/kg séd. sec)	Sédiment #2		Sédiment #3						Sédiment #6								
	Zn 767		Zn 984	Cu 361		Ni 148		Pb 433	Zn 10547		Cu 483		Cd 49,5		Hg 15,8		
	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. $M^{Z+}$ (%)	Enlèv. Total (%)		
#1) trait. chim. *1 HCl + $FeCl_3$ déc. *2	31.3	82.8	73.4	70.9	70.5	43.8	10.6	1.4	0.05	0	59.3	0	0	0	6.4	0	0
#2) trait. chim. *1 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ déc. *2 et $FeCl_3$ (avec $H_2O_2$ )																	
#3) trait. *3 biol. et chim. $H_2SO_4$ pH 4 + $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ HCl pH 1.75	53.2	94.5	74.1	89.1	69.2	49.6	20.0	70.0									
#4) trait. *3 biol. et chim. $H_2SO_4$ pH 4 + $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ déc. et NaCl (0.5M)			63.3	86.8	61.5	35.7	21.1	62.5	47.9	80.3	71.4	95.9	19.4	0	67.4	71.9	100.0
#5) trait. *3 biol. et chim. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ déc. et NaCl (0.5M)																	
#6) trait. *3 biol. et chim. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ déc. et $FeCl_3$																	
#7) trait. *3 biol. et chim. $H_2SO_4$ pH 4 + $FeCl_2$ déc. *2 + HCl pH 1.75									40.8	88.2	76.8	97.9	55.6	74.1	84.5	87.8	2.5

\*1 traitement chimique

\*2 décantation

\*3 traitement biologique et chimique

Tableau 2.1.

Suite.

Métaux dans sédiment avant traitement (mg/kg séd. sec)	Sédiment #8			Sédiment #11									Coûts (\$/t séd. sec)					
	Ni 54.8	Hg 24.8		Pb 349	Zn 2232	Cu 129	Ni 76	Cr 178										
	Enlèv. Total (%)	Enlèv. M <sup>Z+</sup> (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. M <sup>Z+</sup> (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. M <sup>Z+</sup> (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. M <sup>Z+</sup> (%)	Enlèv. Total (%)	Enlèv. M <sup>Z+</sup> (%)	Enlèv. Total (%)						
#1) trait. chim. *1 HCl + FeCl <sub>3</sub> déc. *2	0	28.3	0	61.9	0	88.4	87.2	54.7	31.6	16.1	0	0.71	HCl/HNO	Séd.#2 24.00	Séd.#3 26.00	Séd.#8 52.00	Séd.#6 80.00	Séd.#11 24.00
													FeCl <sub>3</sub>	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09
													Déc.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
													Total	41.00	43.00	69.00	97.00	41.00
#2) trait. chim. *1 FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O déc. *2 et FeCl <sub>3</sub> (avec H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )				48.6	-	79.9	--	60.4	--	14.8	-	27.7	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O					11.00
													Déc.					10.00
													FeCl <sub>3</sub>					12.00
													H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>					3.00
													Total					36.00
#3) trait. *3 biol. et chim. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH 4 + FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O HCl pH 1.75	9.4	79.9	0										H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.00	2.00	10.00		
													FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2.75	2.75	2.75		
													HCl	32.00	24.00	30.00		
													Total	37.75	28.75	43.00		
#4) trait. *3 biol. et chim. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH 4 + FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O déc. et NaCl (0.5M)				47.1	85.1	80.0	95.6	53.6	64.9	20.3	86.5	13.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.00	3.50		12.00	
													FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2.75	2.75		2.75	
													Déc.+boucle	40.00	40.00		40.00	
													NaCl (0.5M)	9.00	9.00		9.00	
													Total	53.75	55.25		59.00	
#5) trait. *3 biol. et chim. FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O déc. et NaCl (0.5M)				52.8	86.0	78.7	87.9	64.2	61.1	8.7	77.0	8.7	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	11.00				
													Déc.+boucle	35.00				
													NaCl (.5M)	9.00				
													Total	55.00				
#6) trait. *3 biol. et chim. FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O déc. *2 et FeCl <sub>3</sub>				52.1	83.7	77.6	89.6	69.6	75.5	0	82.4	3.9	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	11.00				
													Déc.	10.00				
													FeCl <sub>3</sub>	12.09				
													Total	33.00				
#7) trait. *3 biol. et chim. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH 4 + FeCl <sub>3</sub> *2 + HCl pH 1.75				43.2	78.0	89.3	84.6	69.6	77.0	20.8	50.7	0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				11.00	3.50
													FeCl <sub>2</sub>				17.00	17.00
													Déc.				5.00	5.00
													HCl				28.00	18.00
													Total				61.00	44.00

\*1 traitement chimique

\*2 décantation

\*3 traitement biologique et chimique

d'enlèvement réel total des métaux. C'est-à dire que les teneurs en métaux après l'application du traitement sont comparées aux teneurs initiales. Le calcul de l'efficacité du traitement est tributaire de la qualité de la séparation solide-liquide: l'erreur dépend de la quantité de métaux solubles contenus dans l'eau résiduelle des sédiments concentrés.

Prenons par exemple 1 L de sédiment à 3% (p/p) de solides totaux; ce litre contient 30g de sédiment sec et 970 g d'eau. Après filtration, si celle-ci se fait jusqu'à 30% (p/p) de solides totaux, l'on obtiendra 100 g de sédiments filtrés et 900 g de surnageant. Les sédiments filtrés qui sont à 30% (p/p) de solides totaux contiennent donc encore 70 g d'eau. Ce qui signifie qu'il reste encore 7% (p/p) d'eau dans les sédiments filtrés (i.e. 70 g vs 970 g d'eau du départ). Etant donné que les métaux solubles se retrouvent dans cette eau, le suivi des métaux dans les sédiments traités et filtrés sous-estimera de 7% la quantité de métaux enlevée par rapport aux métaux solubilisés dans le surnageant. Meilleure sera la déshydratation des sédiments, plus petite sera l'erreur de calcul.

Pour certains métaux, i.e. le Pb, le Zn, le Cu, le Ni et le Cd, la concentration de l'ion libre ( $M^{2+}$ ) a également été déterminée avant et après le traitement de solubilisation (voir annexes 26g à 32g). Ceci devrait donc nous permettre de s'assurer en terme de biodisponibilité de ce qu'il advient des métaux suite au traitement de décontamination. Comme il a été vu au chapitre 1 du premier rapport, la teneur en métaux totaux du sédiment, est rarement

représentative de la quantité de métaux disponibles (Campbell et al., 1988). C'est dans le but d'estimer une certaine biodisponibilité des métaux contenus dans les sédiments que la détermination de la concentration de l'ion libre  $M^{2+}$  a été faite. La concentration de cet ion en phase aqueuse a en effet été corrélée à la toxicité des métaux dans les sédiments (Tessier et al., 1984).

La concentration d'oxyhydroxydes de Fe prévoiraient bien l'adsorption du Pb, du Zn, du Cu et du Ni (Tessier, 1992). D'où pour la détermination de  $M^{2+}$ , les métaux liés aux oxyhydroxydes de fer (Fe-M), de même que la constante reliée aux oxyhydroxydes de fer ont pu être utilisés, tel que décrit dans la section 2.3.7 de matériel et méthode du premier rapport. Pour le Cd, il semble que le ratio Cd lié aux oxyhydroxydes sur les oxyhydroxydes de fer total, ne soit pas représentatif du ratio retrouvé dans la nature (Tessier et al., 1992). Donc l'équation utilisant le Cd extrait à la fraction 3b (i.e. la fraction liée aux oxyhydroxydes de Fe), n'est pas valable puisqu'une partie importante du Cd serait aussi lié à la matière organique. Pour la détermination de  $M^{2+}$ , le Cd total, en tenant compte de la matière organique, est un meilleur estimateur (voir annexe 26g à 32 g). Donc, le Cd total plutôt que le Cd lié au Fe a été utilisé pour le calcul de  $M^{2+}$  du Cd. Pour déterminer la concentration de l'ion libre, la méthode d'extraction sélective de Tessier et al., (1979) a été utilisée. Les résultats sont présentés au tableau 2.1 sous forme de pourcentage d'enlèvement de  $Mz+$ ; les teneurs en  $M^{2+}$  après le traitement sont

comparées à celles avant le traitement.

Les coûts indiqués au tableau 2.1 sont en dollars canadiens par tonne métrique sèche de sédiments. Les prix utilisés pour estimer les coûts du HCl concentré sont de 163 \$/t, ceux du  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  de 55 \$/t, ceux du  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50%) de 115 \$/t, ceux du  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (98%) de 122 \$/t, ceux du  $\text{FeCl}_3$  de 1.14 \$/kg Fe, ceux du  $\text{FeCl}_2$  de 0.85 \$/kg Fe et ceux du NaCl de 50 \$/t. Le prix de la décantation est estimé à 5 \$/t sédiment sec à partir d'une étude économique pour les boues d'usine d'épuration (46 t/jour) effectuée par BPR (1991). Dans le cas où les traitements de solubilisation comportent du NaCl, une boucle effectuée suite à l'application du traitement est inclus. Cette boucle permettrait le recyclage du NaCl et son coût d'opération est estimée à 30.00 \$/t sédiment sec, en utilisant le même type de calcul fait par BPR (1991).

Les sédiments utilisés pour les essais sont les sédiments #11, #6, #3, #2 et #8 (voir annexe 1a). Le sédiment #11 (voir tableau 2.1) provient du canal Lachine, tout comme le sédiment #12 dont il a été question au chapitre 3 du premier rapport. Ce sédiment est fortement contaminé en Pb et en Zn et, dans une moindre mesure, en Cu, en Ni et en Cr. Il dépasse les normes d'Environnement Canada (1978), par un facteur d'environ 6 fois pour le Pb, 2 fois pour le Cu, 12 fois pour le Zn, 3 fois pour le Ni et 2 fois pour le Cr. Le sédiment #6 provient d'un site situé tout près de l'île-aux-Chats dans la région de Valleyfield (voir annexe 1a). Ce sédiment est spécialement contaminé en Zn avec 10547 mg Zn/kg sédiment sec; il excède les normes d'Environnement Canada

(1978) par 60 fois. Il est aussi très contaminé en Pb, Cu et Cd. Pour ces derniers métaux, il dépasse les normes par un facteur d'environ 7 fois pour le Pb, 8 fois pour le Cu et entre 5 et 6 fois pour le Cd. Le mercure dépasse la norme par un facteur de 15 dans ce sédiment.

Le sédiment #3 qui provient de l'estuaire de la rivière Maskinongé dans le lac Aylmer, est surtout contaminé en Cu, Zn et Ni. Pour ces trois métaux, il est de 5 à 6 fois plus contaminés que les normes recommandées par Environnement Canada (1978).

Le sédiment #2 a été prélevé dans le port de Québec vis-à-vis la Daishowa Inc. dans l'estuaire de la rivière St-Charles (voir annexe 1a). Ce sédiment est surtout contaminé en Zn, dont la teneur est 4 fois plus élevée que la norme recommandée. Sa teneur en Mn est également assez élevée (917 mg Mn/kg sédiment sec).

Le sédiment #8 provient de l'estuaire de la rivière St-Louis dans le lac St-Louis. Ce sédiment est en général assez faiblement contaminé, sauf pour le mercure. Pour ce métal, il excède la norme recommandée par un facteur de 25. Il dépasse aussi les normes pour le Ni par 2 fois.

### 2.1.1 Procédé de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub>

Le traitement #1 indiqué au tableau 2.1, consiste en l'ajout d'une quantité fixe de FeCl<sub>3</sub>, soit 0.08 mL FeCl<sub>3</sub>/g sédiment sec, suivie d'une acidification des sédiments jusqu'à pH=2 avec HCl. Après 23 heures, les sédiments sont décantés et le volume du surnageant est remplacé par le même volume d'eau distillée. Le



tout est réacidifié à pH=2 avec  $\text{HNO}_3$ . Les tableaux 2.2 à 2.6 indiquent l'enlèvement réel total pour tous les métaux analysés dans les sédiments.

Avec des coûts variant entre 41.00 à 97.00\$/t sédiment sec, c'est un type de traitement qui peut être très coûteux. La variation dans le coût d'application s'explique par la plus grande quantité d'acide consommée par certains sédiments (le sédiment #6 par exemple). C'est donc l'acidification des sédiments à pH=2 avec HCl qui contribue le plus à augmenter le coût total du procédé.

Dans le cas du sédiment #2, seulement un faible enlèvement du Zn total est obtenu (voir tableau 2.2). Ce qui est étonnant puisque le Zn est habituellement un métal qui se solubilise facilement. L'expérience a été refaite quatre fois avec le sédiment #2 (voir annexe 26a) et les résultats de pourcentage de solubilisation pour les 4 essais indiquent des rendements se rapprochant de 43%. Il semble que ce serait plutôt la spéciation du Zn qui interviendrait pour expliquer sa plus faible solubilité. Le tableau 2.7 montre la répartition du Zn entre les différentes fractions dans le sédiment #2. Tout semble indiquer que le Zn enlevé provient en majeure partie des fractions échangeables (NaOAc) et liés aux hydroxydes de Fe (3b). Une quantité relativement faible serait extraite à la fraction  $\text{H}_2\text{O}_2$  (moins de 20%). Le fait qu'au moins 60% du Zn présent dans le sédiment #2 au départ, est contenu dans la fraction  $\text{H}_2\text{O}_2$ , peut expliquer les faibles rendements d'enlèvement du Zn. Pour extraire cette fraction (lors de l'extraction sélective), les sédiments sont

Tableau 2.2: Suivi des métaux dans le sédiment #2 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub>.

Métaux	Teneur en métaux		Enlèvement	
	Sédiment avant traitement à t=0h (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement à t=29h (mg/kg séd.sec)	(%)	
Pb	75.6	57.9	23.4	
Cu	94.0	64.2	31.7	
Zn	744.0	511.4	31.3	
Mn	917.0	264.7	71.1	
Ni	35.0	35.4	0	
Cr	116.0	89.1	23.1	
Fe	39344	29133	25.9	
Cd	2.5	2.3	10	
Hg	0.67	0.75* 0.77**	0*	0**

\*t= 22h

\*\*t= 25h

Tableau 2.3: Suivi des métaux dans le sédiment #3 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub>.

Métaux	Teneur en métaux		Enlèvement	
	Sédiment avant traitement à t=0h (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement à t=29h (mg/kg séd.sec)	(%)	
Pb	62.2	36.3	41.6	
Cu	334.5	985.0	70.5	
Zn	1016.3	270.7	73.4	
Mn	707.5	304.3	56.9	
Ni	132.9	118.9	10.6	
Cr	95.1	85.9	13.3	
Fe	35132	38614	0	
Cd	5.1	1.0	79.6	
Hg	0.26	0.23* 0.17**	11.5*	32.8**

\*t= 22h

\*\*t= 25h

Tableau 2.4: Suivi des métaux dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub>.

Métaux	Teneur en métaux		Enlèvement	
	Sédiment avant traitement à t=0h (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement à t=48h (mg/kg séd.sec)	(%)	
Pb	410.0	409.8	0.05	
Cu	482.0	522.3	0	
Zn	11608	4718.9	59.3	
Mn	240.0	130.7	45.5	
Ni	36.0	35.1	2.5	
Cr	158.0	515.1	4.4	
Fe	160904	163143	0	
Cd	44.9	42.0	6.4	
Hg	15.8	16.5* 18.0**	0*	0**

\*t= 22h

\*t= 25h

Tableau 2.5: Suivi des métaux dans le sédiment #8 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub>.

Métaux	Teneur en métaux		Enlèvement	
	Sédiment avant traitement à t=0h (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement à t=29h (mg/kg séd.sec)	(%)	
Pb	54.6	40.4	26.0	
Cu	54.6	36.6	32.9	
Zn	223.9	122.4	45.3	
Mn	873.6	379.7	56.5	
Ni	54.6	57.9	0	
Cr	111.4	131.7	18.2	
Fe	57866	41226	28.7	
Cd	0.65	0.15	76.9	
Hg	24.8	24.0* 24.5**	0*	0**

\*t= 22h

\*\*t= 27h

Tableau 2.6: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub>.

Métaux	Teneur en métaux		Enlèvement	
	Sédiment avant traitement à t=0h (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement à t=50h (mg/kg séd.sec)	(%)	
Pb	281.1	106.9	61.9	
Cu	123.1	55.7	54.7	
Zn	2035	236.8	88.4	
Mn	520.1	229.8	55.8	
Ni	78.1	65.5	16.1	
Cr	182.1	183.3	0.71	
Fe	46774	36543	21.9	
Cd	3.2	1.3	58.7	
Hg	2.3	2.85* 2.20**	0*	5.2**

\*t= 22h

\*\*t= 25h

maintenus à pH=2 avec HNO<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et chauffés à 85°C pendant plus de 5 heures (Tessier *et al.*, 1979). Ces conditions sont beaucoup plus agressives que le traitement de solubilisation chimique, où les sédiments sont maintenus à pH=2 pendant plus de 23 heures, à une température de 21°C.

Tableau 2.7 Répartition du Zn dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #2: traitement #1.

Fractions	Zn (ug/g)	
	Avant traitement (t= 0h)	Après traitement (t=29h)
Total	696.6	506.4
NaOAc	75.4	4.9
3b	134.2	40.5
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	420.0	386.0
HF	67.0	75.0

Le Zn de la fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est très peu accessible. L'enlèvement de l'ion libre est satisfaisant puisque près de 83% d'enlèvement est atteint (voir tableau 2.1). Ces bons rendements s'expliquent par le fait qu'une bonne proportion de Zn est enlevée dans les fractions NaOAc et 3b lors de l'application du traitement.

Dans le sédiment #3, près de 73 et 70% d'enlèvement réel du Zn et du Cu sont respectivement obtenus. Dans le cas du Ni, seulement 10% initialement présent est enlevé (voir tableau 2.3). Pour la diminution de l'ion libre suite au traitement de solubilisation, dans le cas du Zn, l'enlèvement est presque total, soit 70.9% (8.1 à 2.3 nmole/L) d'enlèvement du M<sup>2+</sup> comparativement à 73%

d'enlèvement total. Pour le Cu, seulement 44% de  $M^{2+}$  (soit de 5.9 à 3.3 nmole/L) est enlevé comparativement à 70% d'enlèvement total. Et pour le Ni, la diminution de  $M^{2+}$  est très faible, soit 1% (5.8 à 5.7 nmole/L).

Le tableau 2.8 indique la répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.8 Répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #3: traitement #1.

Fractions	Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Ni (ug/g)	
	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=29h)	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=29h)	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=29h)
Total	1195	300.2	458.6	109.2	159.3	120.2
NaOAc	503.0	10.4	75.5	1.31	13.4	1.31
3b	472.9	114.9	8.7	4.2	47.5	39.3
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	108.2	82.4	310.0	82.2	18.2	21.6
HF	111.5	92.5	64.0	21.5	80.5	58.0

La majeure partie du Zn est enlevée dans les deux premières fractions (NaOAc et 3b), ce qui explique les rendements supérieurs obtenus en terme d'enlèvement total et de  $M^{2+}$ . Il est à remarquer que la proportion du Zn trouvée dans la fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est de beaucoup inférieure à celle qui était trouvée dans le sédiment #2; soit moins de 10% dans le sédiment #3 comparativement à 60% dans le sédiment #2.

La majeure partie du Cu est enlevée, lors de l'application du traitement dans la fraction NaOAc et la fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Peu de Cu serait donc lié aux hydroxydes de Fe, alors qu'une proportion plus importante serait lié à la matière organique. Le fait que le

calcul de  $M^{2+}$  fait intervenir seulement la fraction 3b, peut expliquer le plus faible rendement d'enlèvement de  $M^{2+}$  par rapport à l'enlèvement total. En effet, peu de Cu est enlevé suite au traitement dans cette fraction (soit 4.5 ug/g, voir tableau 4.8). De plus, puisque la quantité de Fe trouvée dans la fraction 3b est utilisée pour le calcul de  $M^{2+}$  (voir section 2.3.7 du premier rapport), et que dans le sédiment #3, suite au traitement de solubilisation chimique avec HCl et  $FeCl_3$ , le Fe diminue un peu, soit de 8571 à 7184 ug/g (voir annexe 26fiii), le calcul de l'enlèvement de  $M^{2+}$  est affecté.

Le Ni demeure difficile à solubiliser. Une acidification à pH=2 avec ajout de  $FeCl_3$  semble insuffisant pour assurer une décontamination significative pour ce métal. Le tableau 2.8 indique que la moitié du Ni se retrouve dans la phase résiduelle. Bien qu'une diminution de Ni est observée dans cette phase après l'application du traitement, les métaux retrouvés dans cette phase sont peu disponibles. Cette fraction contient les métaux liés aux minéraux qui normalement dans les milieux naturels, sont peu libérés (Tessier et al., 1979). Donc tout semblerait indiquer que les rendements d'enlèvement totaux trouvés pour le sédiment #3, lors du suivi des métaux (i.e. 10%), sont plus près de la réalité. Et cet enlèvement se ferait surtout dans la fraction échangeable (NaOAc). Les métaux liés à la fraction 3b semblent peu solubilisés par le traitement chimique.

Dans le sédiment #6, le Pb, le Cu et le Hg n'ont pu être solubilisés lors de l'application du traitement #1, alors que

seulement 6% du Cd a pu être enlevé et que les rendements d'enlèvement du Zn atteignent 59% (voir tableau 2.4). Il n'y a aucune diminution de l'ion libre pour tous les métaux. Ce sédiment est particulièrement contaminé en Zn et s'est montré très difficile à acidifier. Ainsi, il a été difficile de maintenir un pH égal à 2 de façon continue, et le potentiel-rédox est demeuré en bas de 300 mV durant les 48 heures d'expérimentation. A l'annexe 26a, il est possible de constater que le sédiment #6 contient une grande proportion de sulfures (autour de 500 mg/L de soufre insoluble) expliquant les conditions réductrices qui prévalent dans ce sédiment et la faible solubilisation des métaux. L'application d'un traitement chimique semble donc plus approprié pour effectuer la lixiviation des métaux dans un tel type de sédiment.

Le tableau 2.9 indique la répartition du Fe dans le sédiment #6. La fraction 3b est constituée par les métaux liés aux oxyhydroxydes de Fe et de Mn. Les oxyhydroxydes de Fe et de Mn seraient un réservoir important de métaux et via leur cycle de réduction et d'oxydation, ils sont soupçonnés de jouer un rôle important dans la biodisponibilité des métaux traces (Belzile et al., 1989). La quantité de Fe trouvée dans la fraction 3b, est utilisée pour le calcul de l'ion libre (voir section 2.3.7 du premier rapport). Le fait que le sédiment avant traitement contient beaucoup plus de Fe qu'après traitement, pourrait expliquer qu'il n'y ait pas de diminution de  $M^{2+}$  (dans le calcul de  $M^{2+}$ , la concentration de métaux est divisée par la concentration de Fe), suite à l'application du traitement et ce malgré un

enlèvement réel de 59.3%. Dans le cas du sédiment #6, suite au traitement chimique #1, une très grande proportion de Fe se trouve dans la phase résiduelle.

Tableau 2.9 Répartition du Fe dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #6: traitement #1.

Fractions	Fe (ug/g)	
	Avant traitement (t=0h)	Après traitement (t=30h)
Total	135000	168237
NaOAc	2627	418
3b	12142	5481
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1064	1238
HF	119450	161100

Le traitement de solubilisation chimique n'a pas réussi à diminuer la teneur en Ni et Hg dans le sédiment #8 (voir tableau 2.5). Une certaine diminution de M<sup>2+</sup> pour le Ni peut être observée. Le tableau 2.10 indique la répartition du Ni et du Fe dans le sédiment #8 .

Tableau 2.10 Répartition du Ni et du Fe dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #8: traitement #1.

Fractions	Ni (ug/g)		Fe (ug/g)	
	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=30h)	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=30h)
Total	58.7	50.6	41940	41019
NaOAc	2.9	0.6	8845	141
3b	8.1	6.2	5326	5694
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	8.6	8.8	870	1434
HF	39.0	35.0	34860	33750



Tel qu'indiqué au tableau 2.10, une légère diminution de la quantité de Ni contenue dans la fraction 3b (8.1 à 6.2 ug/g) combinée à une légère augmentation de la quantité de Fe (5326 à 5694 ug/g) explique la diminution de  $M^{2+}$  pour le Ni, suite au traitement chimique: il passe pour le Ni de 1.38 à 0.99 nmole/L.

Les pourcentages d'enlèvement total du Pb, du Zn et du Cu dans le sédiment #11 atteignent 62, 88 et 55% (voir tableau 2.6). Le Ni est faiblement enlevé (16%) alors que le Cr l'est à moins de 1%. Une certaine diminution de l'ion libre n'a été observée que pour le Zn et pour le Cu (voir tableau 2.1): dans le cas du Zn, la diminution de  $M^{2+}$  est semblable à l'enlèvement total, alors que pour le Cu, la diminution observée pour  $M^{2+}$  (32%) est inférieure à l'enlèvement total (55%).

Le tableau 2.11 indique la répartition du Pb, Cu, Ni et Cr dans le sédiment #11 lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.11 Répartition du Pb, Zn, Cu, Ni et Cr dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #1 (t après traitement=29h).

Fractions	Pb (ug/g)		Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Ni (ug/g)		Cr (ug/g)	
	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.
Total	372.8	138.9	1757	191.8	129.5	55.9	73.1	61.9	173.7	135.0
NaOAc	157.0	32.6	919.0	41.9	8.7	0.7	4.4	1.1	7.5	5.4
3b	114.9	48.2	665.7	34.9	4.4	1.3	10.4	8.2	40.5	18.3
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	19.4	26.0	77.8	43.0	87.0	34.4	8.1	9.6	20.1	26.2
HF	79.2	32.0	94.7	72.0	31.0	19.5	47.2	43.0	107.5	86.0

Les rendements d'enlèvement du Pb et du Zn sont semblables à ceux trouvés avec le sédiment #12 (voir tableau 2.6 et chapitre 3 du premier rapport). La majeure partie du Pb solubilisé se trouve

dans les fractions échangeables et liés aux hydroxydes de Fe et Mn (fraction NaOAc et 3b). En plus, dans le cas du Zn, une certaine partie se situe dans la fraction liée aux sulfures et à la matière organique i.e. la fraction  $H_2O_2$  (voir tableau 2.11). Pour tous ces éléments, la différence observée dans la fraction résiduelle (HF) avant et après traitement, est fort probablement attribuable à une variabilité expérimentale, puisqu'il est très improbable que le procédé de solubilisation chimique #1, effectué à pH=2 avec HCl, puisse extraire des métaux dans cette fraction.

La solubilisation du Cu est inférieure à celle trouvée avec le sédiment #3. Il est possible que la plus faible teneur en Cu du sédiment #11 par rapport au sédiment #3, explique ce fait. De fait, Couillard et Chartier (1992) avaient montré dans le cas des boues d'usine d'épuration que plus la teneur en Cu des boues est élevée, plus les rendements de solubilisation du Cu augmentent. Le tableau 2.11 indique qu'une bonne partie du Cu enlevée provient de la fraction  $H_2O_2$ , i.e. celle qui est liée à la matière organique. Cette fraction contient 67% du Cu.

Les rendements de solubilisation du Ni demeurent faibles. Tout comme pour le sédiment #3, le Ni se solubilise très peu. Le tableau 2.11 indique que la majeure partie du Ni enlevé l'est à la fraction échangeable. Et cette fraction ne contient qu'une faible partie du Ni (6%).

Le Cr est très peu solubilisé. Cet élément est très difficile à lixivier. Sa répartition entre les différentes phases d'extraction sélective (voir tableau 2.11), indiquent que près de

60% du Cr se trouve dans la phase résiduelle, c'est-à dire qu'il n'est pas mobilisable et qu'une digestion totale est requise pour l'extraire. Ce métal n'a pas été étudié par Tessier et al., (1992). Legret et al. (1987), ont trouvé que dans les boues d'usine d'épuration, le Cr se trouvait sous forme réductible et résiduelle et que des conditions très acides étaient requises pour le solubiliser.

La quantité de Fe avant et après traitement dans le sédiment #11 dans la fraction 3b passe de 16600 ug/g à 6846 ug/g (voir annexe 26 fiii). Ce fait explique, tout comme dans le cas du sédiment #6, pourquoi aucune réduction de  $M^{2+}$  n'est observée pour le Pb. Une diminution de la quantité de Fe défavorise la réduction de l'ion métallique.

En conclusion, le traitement de solubilisation chimique semble apte à solubiliser de façon adéquate les métaux totaux suivants; le Zn, le Cu et le Pb dans les sédiments où les conditions ne sont pas trop réductrices. Ce type de traitement n'est pas apte à solubiliser le Hg et le Cr et solubilise seulement une faible proportion du Ni. De plus aucune diminution de l'ion libre dans les sédiments #6 et #11 n'a lieu suite à l'application du traitement chimique avec HCl et  $FeCl_3$ , car le Fe diminue de façon importante suite au traitement en raison de la solubilité du  $Fe^{+3}$  et  $Fe^{+2}$  dans HCl à pH=2.

### 2.1.2 Procédé de solubilisation chimique avec $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ et $FeCl_3$

Le traitement #2 indiqué au tableau 2.1, consiste en l'ajout

dans les sédiments de 20%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (p/p). Après 5 heures d'expérimentation, les sédiments sont décantés, le volume du surnageant est remplacé par un volume d'eau distillée qui permet de revenir au volume d'avant la décantation, et 4.5% (v/v) de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%) ainsi que 0.08 mL  $\text{FeCl}_3$ /g sédiment sec sont ajoutés. Trois heures plus tard, une seconde décantation est faite et le volume du surnageant est remplacé par deux fois le volume des sédiments décantés en eau distillée (pH=3 avec HCl). Les échantillons pour le suivi des métaux et le calcul de l'enlèvement de  $\text{M}^{2+}$  sont pris au départ et à la fin, après la seconde décantation. L'ajout de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a été fait dans le but de favoriser les conditions oxydantes. Le coût du procédé (voir tableau 2.1) est estimé à 36 \$/t sédiment sec. Il n'y a aucune acidification requise, ce qui rend les manipulations à grande échelle plus faciles et simples. Le coût de ce procédé est parmi les plus faibles.

Seul le sédiment #11 a été traité avec ce type de procédé. Il y a un enlèvement total de 49% pour le Pb, 80% pour le Zn et 60% pour le Cu. Le Ni est faiblement enlevé avec 15% et le Cr est enlevé à 28% (voir tableau 2.12). Pour ces essais, la détermination de la concentration de l'ion libre  $\text{M}^{2+}$  (après traitement) n'a pas été faite.

Le même type de traitement a également été appliqué, mais sans ajout de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Les résultats sont indiqués au tableau 2.13. L'enlèvement pour le Pb, le Zn et le Cu après le dernier rinçage est de 27, 67 et 79%, alors qu'il est de 11% pour le Ni et 22% pour le Cr (voir tableau 2.13). Les coûts de ce procédé seraient un peu

Tableau 2.12: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (avec  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Métaux	Teneur en métaux				Enlèvement (%)				
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				Enlèvement (%)			
		0h	7h	7.6h	9h rinçage	7h	7.6h	9h rinçage	
Pb	365.9	246.1	206.7	205.0	188.2	32.7	43.5	43.9	48.6
Cu	147.6	84.4	66.7	79.7	58.3	42.8	64.8	45.9	60.4
Zn	2879.5	940.2	727.9	676.0	578.9	67.4	74.7	76.5	79.9
Mn	506.8	450.3	410.6	380.5	361.8	11.1	18.9	24.9	28.6
Ni	94.5	84.4	73.3	85.4	80.9	10.7	22.4	9.6	14.8
Cr	177.1	161.7	153.3	136.7	127.9	8.7	13.5	22.8	27.7
Fe	55812	69631	66327	61961	60560	0	0	0	0
Hg	2.3	--	--	--	25	--	--	--	0

Tableau 2.13: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (sans  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Métaux	Teneur en métaux				Enlèvement (%)				
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				Enlèvement (%)			
		0h	7h	7.6h	9h rinçage	7h	7.6h	9h rinçage	
Pb	365.9	258.5	247.7	247.6	267.9	29.4	32.3	32.3	26.8
Cu	147.6	81.6	69.1	64.8	62.7	44.7	53.2	56.1	67.5
Zn	2879.5	994.6	772.4	738.2	592.6	65.5	73.2	74.4	79.4
Mn	506.8	434.3	429.3	435.9	374.7	14.3	15.2	13.9	26.1
Ni	94.5	81.6	86.4	88.4	84.2	13.7	8.5	6.4	10.8
Cr	177.1	176.9	167.0	170.9	137.9	0.12	5.7	3.4	22.1
Fe	55812	57356	57375	60728	50036	0	0	0	10.3

moins élevés puisqu'il n'y a pas d'ajout de  $H_2O_2$  (soit près de 33 \$/t sédiment sec).

Pour ce qui est du  $H_2O_2$ , il semble qu'il ait pour effet d'augmenter d'environ 20% l'enlèvement du Pb et aussi dans une moindre mesure, celui du Cu. L'enlèvement du Cr semble également favorisé (d'environ 10%) par la présence d' $H_2O_2$ . Dans le cas du Ni et du Zn, le  $H_2O_2$  ne semble pas avoir d'influence. Toutefois une légère variabilité expérimentale dans l'analyse des sédiments traités et filtrés pour le Ni, rend l'interprétation des résultats un peu plus difficile.

Avec l'ajout de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , le pH et le POR des échantillons passent, en moyenne, après 7 heures, à 2.46 et 427 mV, s'il n'y a pas d'ajout de  $H_2O_2$  et à 2.30 et 522 mV avec ajout de  $H_2O_2$  (voir annexe 27a). Les conditions plus oxydantes en présence de  $H_2O_2$  pourraient expliquer la légère hausse de rendement obtenue avec ce dernier pour le Pb, Cu et Cr.

Pour conclure, l'ajout de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  et de  $FeCl_3$  avec ajout de  $H_2O_2$  donnent des rendements semblables (sauf pour le Pb) à l'acidification des sédiments à pH=2 avec HCl et ajout de  $FeCl_3$ , tout en étant la moitié moins coûteux. Toutefois l'enlèvement du Pb demeure un peu faible (49%), probablement en raison de la teneur un peu élevée en sulfate, soit autour de 900 mg/L pour le traitement #2 comparativement à moins de 5 mg/L pour le traitement #1. Comme il a été vu au chapitre 3 du premier rapport, les sulfates entraînent la précipitation du Pb. D'autres essais seraient à refaire pour confirmer l'effet du  $H_2O_2$ .

### 2.1.3 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et acidification des sédiments à $\text{pH} = 1.75$ après 48 heures de traitement.

Le traitement #3 consiste en un traitement de solubilisation biologique standard. Les sédiments acidifiés à  $\text{pH}=4$  avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sont additionnés de l'inoculum (20% v/v) et du substrat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 5% p/p). Après plus de 48 heures environ, les essais sont acidifiés à  $\text{pH}=1.75$  avec  $\text{HCl}$ . Ce type de traitement a déjà été présenté au chapitre 3 du premier rapport ( voir section 3.1.3.3 du premier rapport). Les tableaux 2.14, 2.15 et 2.16 présentent l'enlèvement total pour tous les métaux dans chacun des sédiments.

Même si l'acidification des sédiments ne requiert pas trop d'acide, le prix de ce procédé est peu élevé comparativement aux autres procédés, soit autour de 35 \$/t sédiment sec (voir tableau 2.1). La plus grande partie des coûts provient de l'ajout de  $\text{HCl}$  (entre 24.00 et 32.00 \$/t sédiment sec, voir tableau 2.1). Toutefois comme il a été vu au chapitre 3 du premier rapport, un tel procédé demeure acceptable avec des sédiments peu contaminés en  $\text{Pb}$ , étant donné qu'en raison de la présence relativement élevée de sulfate, la solubilisation du  $\text{Pb}$  plafonne vite.

Pour le sédiment #2, l'enlèvement total du  $\text{Zn}$  est de 53% et celui du  $\text{Zn}^{+2}$  ( $\text{M}^{2+}$ ) de 94.5%. Le tableau 2.17 indique la répartition du  $\text{Zn}$  dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.14: Suivi des métaux dans le sédiment #2 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  complété par une acidification au  $\text{HCl}$  après 48 heures.

Métaux	Teneur en métaux						
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)			Enlèvement (%)		
	0h	45h	52h	77h	45h	52h	77h
Pb	73.3	145.6	206.1	123.2	0	0	0
Cu	80.1	49.4	37.2	82.6	49.4	37.2	82.6
Zn	790.1	30.2	97.4	369.8	58.2	24.4	53.2
Mn	539.1	238.8	356.0	247.9	55.7	33.9	54.0
Ni	30.7	49.5	35.6	65.7	0	0	0
Cr	109.1	127.7	65.4	131.0	0	40.0	0
Fe	23580	54229	5566	38992	0	0	0
Cd	2.6	1.6	0	1.4	37.7	0	44.9
Hg	0.67	0.92	1.1	-	0	0	-

Tableau 2.15: Suivi des métaux dans le sédiment #3 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  complété par une acidification au  $\text{HCl}$  après 45 heures.

Métaux	Teneur en métaux				
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)		Enlèvement (%)	
	0h	45h	77h	45h	77h
Pb	97.0	102.5	80.4	0	17.1
Cu	343.6	151.4	105.7	55.9	69.2
Zn	984.4	299.8	254.7	69.5	74.1
Mn	1053	272.4	286.6	74.10	72.80
Ni	154	116.6	123.1	24.3	20.0
Cr	136.4	120.1	131.8	11.9	3.3
Fe	35881	47864	47665	0	0
Cd	7.1	0.44	0.33	93.8	95.30
Hg	0.26	0.35	0.47	0	0

Tableau 2.16: Suivi des métaux dans le sédiment #8 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  complété par une acidification au  $\text{HCl}$  après 71 heures.

Métaux	Teneur en métaux				
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)		Enlèvement (%)	
	0h	71h	91h	71h	91h
Pb	48.1	48.4	43.5	0	9.54
Cu	55.1	53.7	28.5	2.45	48.23
Zn	240.5	134.4	107.0	44.11	55.51
Mn	851.7	376.3	363.8	55.82	57.29
Ni	55.1	53.8	49.9	2.45	9.40
Cr	113.7	133.5	88.45	0	22.23
Fe	57866	49638	40658	14.22	29.74
Cd	0.6	0.9	0.7	0	0
Hg	24.8	30.0	32.0	0	0



Même si une partie importante du Zn se trouve dans la fraction  $H_2O_2$ , le procédé de solubilisation biologique semble capable de solubiliser plus facilement le Zn lié à cette fraction, que le procédé de solubilisation chimique (voir tableau 2.7). Ainsi, après l'application du traitement, il reste dans la fraction  $H_2O_2$ , 282 ug Zn/kg dans le cas du procédé biologique versus 386 ug Zn/kg dans le cas du procédé chimique. Il n'en demeure pas moins que pour le sédiment #2, l'enlèvement total du Zn est relativement faible, en raison de sa spéciation.

Tableau 2.17 Répartition du Zn dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #2: traitement #3 (t après traitement=52h).

Fractions	Zn (ug/g)	
	Avant traitement	Après traitement
Total	696.6	405.2
NaOAc	75.4	21.5
3b	134.2	32.02
$H_2O_2$	420.0	282.0
HF	67.0	69.5

Mais la diminution de l'ion libre de 94% pour le Zn indique que très peu de Zn demeure biodisponible. Il est à remarquer que l'augmentation du Fe dans la fraction 3b suite à l'application du traitement (de 4600 à 17275 ug/kg, voir annexe 28fiii), favorise la diminution de  $M^{2+}$ . Selon la théorie, moins d'ion métallique se trouve sous forme libre quand la quantité d'hydroxyde de Fe est plus élevée.

Pour le sédiment #3, l'enlèvement total du Zn est de 74%,

celui du Cu de 69% et celui du Ni de 20% (voir tableau 2.5). Pour ce qui est de la diminution de  $M^{2+}$ , elle est de 89, 50 et 70% pour le Zn, le Cu et le Ni respectivement (voir tableau 2.1).

L'enlèvement total du Zn et du Cu est semblable à celui obtenu lors du traitement chimique #1 (voir tableau 2.1), alors que celui du Ni, est plus élevé de 10% environ. Le tableau 2.18 indique la répartition du Zn, Cu et Ni entre les différentes fractions lors de l'extraction sélective, avec le sédiment #3.

Tableau 2.18 Répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #3: traitement #3.

Fractions	Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Ni (ug/g)	
	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=52h)	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=52h)	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=52h)
Total	1195	318.9	458.6	135.7	159.3	125.4
NaOAc	503.0	35.0	75.5	6.3	13.4	5.6
3b	472.9	120.8	8.7	11.7	47.5	39.4
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	108.2	49.0	310.0	87.8	18.2	18.4
HF	111.5	117.0	64.0	30.0	80.5	62.0

Plus de 80% du Zn est enlevé dans les deux premières fractions (NaOAc et 3b). Dans le cas du sédiment #3, la solubilisation du Zn est comparable pour la solubilisation biologique et la solubilisation chimique. A nouveau les rendements d'enlèvement totaux sont élevés en raison de la spéciation du Zn. Les métaux contenus dans les deux premières fractions, sont aussi disponibles à la solubilisation lors de l'application d'un traitement de solubilisation biologique.

La majeure partie du Cu (68%) se trouve dans la fraction contenant les métaux liés à la matière organique ( $H_2O_2$ ). Il reste 16% du Cu qui est contenu dans la fraction NaOAc. Les métaux solubilisés sont principalement enlevés dans ces deux fractions. La différence de concentration observée avant et après traitement, dans la fraction résiduelle (HF), est probablement causée par une variabilité expérimentale en raison probablement du manque d'homogénéité des sédiments, puisqu'il est improbable qu'il y ait enlèvement des métaux dans cette fraction lors de l'application du procédé.

La spéciation du Ni lors de l'application du procédé biologique est également comparable à celle trouvée lors de l'application du procédé chimique. (voir tableaux 2.8 et 2.18). La majeure partie du Ni contenue dans la phase résiduelle est donc peu disponible à la solubilisation. Toutefois en terme d'enlèvement réel, de plus hauts rendements, i.e. 20% au lieu de 10%, ont été obtenus avec le procédé biologique. Un manque d'homogénéité dans les échantillons de sédiments quant à la teneur en Ni explique probablement cette différence.

Pour le sédiment #3, la spéciation des métaux Zn, Cu et Ni est semblable lors de l'application du traitement biologique ou du traitement chimique, mais il n'en va pas de même pour la diminution de  $M^{2+}$ . De plus grandes diminutions sont observées lors de l'application du traitement biologique, notamment dans le cas du Ni. Ces diminutions s'expliquent par l'ajout de Fe (via le substrat), lors de l'application du traitement de solubilisation

biologique, qui devient de plus en plus insoluble avec le temps. Dans la fraction 3b, la quantité de Fe passe de 8500 ug/g avant traitement à 21400 ug/g après traitement (45 heures, voir annexe 28fiii). Selon la théorie de la biodisponibilité des métaux, il y a diminution de la concentration de l'ion libre en solution et donc diminution de la toxicité, si le réservoir d'hydroxyde de Fe augmente.

Le procédé de solubilisation biologique a également été appliqué au le sédiment #8. Un enlèvement global du Ni de 10% est observé alors qu'il n'y a aucun enlèvement du Hg (voir tableau 2.16). Dans le cas du Ni, la diminution de  $M^{2+}$  atteint 80% (voir tableau 2.1). L'enlèvement global du Ni reste semblable à celui observé avec le sédiment #3 ou lors de l'application du traitement chimique (#1) dans le cas du sédiment #8 (voir tableau 2.1). Le tableau 2.19 indique la spéciation du Ni et du Fe dans les différentes phases, lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.19 Répartition du Ni et du Fe dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #8: traitement #3 (t après traitement=72h).

Fractions	Ni (ug/g)		Fe (ug/g)	
	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.
Total	58.7	49.3	41940	48456
NaOAc	2.9	0.9	8845	776
3b	8.1	6.3	5326	12068
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	8.6	6.6	870	1562
HF	39.0	35.5	34860	34050

La légère diminution du Ni ainsi que l'augmentation de la

concentration de Fe dans la fraction 3b (voir tableau 2.19) expliquent la grande diminution de  $M^{2+}$  pour le Ni (80%). Et comme il a été vu avec le sédiment #3, la majeure partie du Ni se trouve dans la fraction résiduelle (HF). Enfin le procédé de solubilisation biologique ne semble pas plus apte à solubiliser le Hg que le procédé chimique (voir traitement #1 et #3, tableau 2.1)

En conclusion, le procédé de solubilisation biologique avec acidification des sédiments, à  $\text{pH}=1.75$  après 48 heures, permet des rendements d'enlèvement semblables au traitement de solubilisation chimique #1 à la moitié prix. Toutefois comme il a été vu dans le chapitre 3 du premier rapport, le Pb n'est solubilisé qu'à 50% avec un tel procédé, en raison de la teneur plus élevée en sulfate. Pour les sédiments ne contenant pas de Pb, seul la phase biologique est requise (voir tableaux 2.14, 2.15, 2.16). En effet l'acidification des sédiments ne semble pas diminuer de façon importante les métaux dans les sédiments traités et filtrés. Le coût diminue alors pour se situer entre 6 à 13 \$/t sédiment sec.

2.1.4 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel (acidification des sédiments au départ à  $\text{pH}=4$ ).

Avec des procédés utilisant du NaCl et du HCl, Legiec et al. (1989a,b) ont obtenu de bons rendements d'enlèvement du Pb, Cd et Zn dans les cendres d'incinérateur. Théoriquement, l'augmentation

d'ions chlorures en solution devrait augmenter le Pb soluble total, via la formation de complexes solubles entre le Pb et le  $\text{Cl}^-$  (voir tableaux 3.7, 3.8 et 3.9 du premier rapport). Le traitement #4 indiqué au tableau 2.1, utilise une solution de NaCl (0.5 M) pour solubiliser les métaux dans les sédiments. Suite à un traitement biologique standard (appliqué durant environ 48 heures), i.e. acidification des sédiments à pH=4 avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ajout de l'inoculum (20%, v/v) et du substrat, le  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (5%, p/p), les sédiments sont décantés. Le surnageant est remplacé par un volume d'une solution de NaCl (0.5 M) égal au double du volume des sédiments décantés. Par la suite, deux rinçages des sédiments sont effectués.

Le coût du traitement #4 varie entre 55.00 et 59.00 \$/t sédiment sec et inclu le coût de la boucle de recyclage de NaCl (voir tableau 2.1). Mis à part le sédiment #6 qui est fortement anoxique et difficile à acidifier, les coûts en acide ne sont pas trop élevés. Ce qui augmente le coût total, c'est la boucle rendue nécessaire pour le recyclage du NaCl. Les coûts du traitement au sel sont les plus élevés avec ceux du traitement chimique.

Les tableaux 2.20, 2.21 et 2.22 présentent le suivi des métaux pour cette option, pour chacun des sédiments, la solution de NaCl étant de 0.5 M. Et, au tableau 2.23, la solubilisation des métaux à partir d'une solution de NaCl 0.2 M est présentée.

Pour le sédiment #3, l'enlèvement total du Zn atteint 63%, celui du Cu 61% et celui du Ni 21% (voir tableau 2.20). La

Tableau 2.20: Suivi des métaux dans le sédiment #3 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O complété par une décantation et un traitement au sel après 46 heures.

Métaux	Teneur en métaux								
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				Enlèvement (%)			
		0h	46h	46.5h	48h	rinçage	46h	46.5h	48h
Pb	90.2	77.8	76.5	69.9	53.0	13.7	15.2	22.4	41.2
Cu	405.7	192.7	181.6	180.3	156.0	52.5	55.2	55.6	61.5
Zn	952.9	391.3	363.7	384.4	350.0	58.9	61.8	59.7	63.3
Mn	642.8	453.2	446.5	452.4	412.1	29.5	30.5	29.6	35.9
Ni	157.8	129.7	143.4	139.3	124.4	17.8	9.1	11.7	21.1
Cr	159.6	122.3	148.2	151.6	126.8	23.4	7.2	4.9	20.6
Fe	48145	57814	65151	65281	52000	0	0	0	0
Hg	0.27	--	--	--	0.29	--	--	--	0

Tableau 2.21: Suivi des métaux dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O complété par une décantation et un traitement au sel après 46 heures.

Métaux	Teneur en métaux								
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				Enlèvement (%)			
		0h	46h	46.5h	48h	rinçage	46h	46.5h	48h
Pb	466.2	310.8	296.6	211.3	243.1	33.3	36.4	54.7	47.9
Cu	480.5	340.1	363.2	344.6	387.5	29.2	24.4	28.3	19.4
Zn	10183	3328.2	2703.3	2620.1	2913.5	67.3	73.4	74.3	71.4
Mn	286.6	233.2	236.8	197.7	241.8	18.6	17.4	31.0	15.6
Ni	36.1	29.3	35.3	32.2	34.2	18.8	1.9	10.7	5.1
Cr	192.2	186.5	223.9	225.2	230.3	2.9	0	0	0
Fe	181697	163468	189216	181686	204865	10.0	0.01	2.05	0
Cd	38.5	14.6	12.1	0	12.6	62.0	68.6	100	67.4
Hg	17.4	--	--	--	0	--	--	--	100

Tableau 2.22: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  complété par une décantation et un traitement au sel (0.5 M) après 46 heures.

Métaux	Teneur en métaux								
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				Enlèvement (%)			
	0h	46h	46.5h	48h	rinçage	46h	46.5h	48h	rinçage
Pb	379.7	252.9	229.8	180.1	200.8	33.4	39.5	52.6	47.1
Cu	132.2	64.4	56.9	56.3	61.3	51.3	56.9	57.4	53.6
Zn	2070	528.8	483.1	410.5	412.8	74.6	76.7	80.2	80.0
Mn	436.5	359.9	345.5	319.9	347.8	17.6	20.9	26.7	20.4
Ni	78.9	62.2	62.6	56.3	62.9	21.3	20.7	28.7	20.3
Cr	200.4	184.3	214.2	191.5	173.3	0.02	0	4.4	13.5
Fe	45692	64392	68787	62059	66649	0	0	0	0

Tableau 2.23: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  complété par une décantation et un traitement au sel (0.2 M) après 46 heures.

Métaux	Teneur en métaux								
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				Enlèvement (%)			
	0h	46h	46.5h	48h	rinçage	46h	46.5h	48h	rinçage
Pb	379.7	296.5	221.9	251.0	209.3	21.9	41.6	33.9	44.9
Cu	132.2	65.8	61.2	91.9	54.9	50.2	53.7	30.5	58.4
Zn	2070	541.4	427.8	474.2	393.8	73.0	79.3	77.1	80.9
Mn	436.5	363.5	333.9	361.7	334.7	29.5	30.5	29.6	35.9
Ni	78.9	63.3	51.8	67.3	57.2	19.8	34.4	14.7	27.5
Cr	200.4	188.3	207.7	217.3	152.5	0.05	0	0	23.9
Fe	45692	35539	32882	40942	65882	22.2	28.0	10.3	0
Hg	2.32	--	--	--	2.70	--	--	--	0



diminution de  $M^{2+}$  pour ces mêmes métaux est de 87, 36 et 62% (voir tableau 2.1). Pour le Zn et le Cu, l'enlèvement total est inférieur de 10% aux enlèvements obtenus dans le sédiment #3, dans le cas de l'application des traitements chimiques (#1) et biologique (#3).

Le tableau 2.24 indique la répartition des métaux dans les différentes phases lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.24 Répartition du Zn, Cu et Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #3: traitement #4 (t après traitement=48h).

Fractions	Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Ni (ug/g)	
	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.
Total	1195	305.9	458.6	153.0	159.3	116.6
NaOAc	503.0	18.3	75.5	12.2	13.4	2.4
3b	472.9	97.4	8.7	9.1	47.5	29.4
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	108.2	43.4	310.0	98.0	18.2	13.8
HF	111.5	146.4	64.0	34.0	80.5	71.0

Bien que l'enlèvement total du Zn soit inférieur à celui des autres traitements (voir tableau 2.1), la spéciation du Zn est semblable pour le traitement de solubilisation au sel à celle des autres traitements (voir tableaux 2.8 et 2.18), ce qui laisse supposer une légère variabilité expérimentale dans l'analyse du suivi des métaux. La majeure partie du Zn est enlevée dans les deux premières fractions (NaOAc et 3b), tout comme dans le cas du traitement #1 et #3.

Le cas du Cu ressemble à celui du Zn; c'est-à-dire que la spéciation du Cu est semblable, après le traitement au NaCl, à

celle trouvée après les autres traitements de solubilisation (voir tableaux 2.8 et 2.18). Encore ici, une certaine variabilité expérimentale est probablement en cause pour expliquer la diminution de l'enlèvement total par rapport aux autres traitements (voir tableau 2.1). Il est aussi probable que la valeur de Cu trouvée dans la phase résiduelle (HF) avant traitement (i.e. 64 ug/g, voir tableau 2.24) est surestimée, puisqu'il est improbable qu'un enlèvement intervienne dans cette fraction, dans les conditions dans lesquelles le procédé est appliqué.

Comme il a été vu dans le cas des autres traitements de solubilisation, l'enlèvement total du Ni est faible et sa spéciation (voir tableau 2.24) est semblable à celle observée pour les autres traitements (voir tableaux 2.8 et 2.18).

La diminution de  $M^{2+}$  pour le Zn est semblable à celle obtenue avec l'autre traitement biologique (#3); i.e. 87% avec le traitement #4 plutôt que 89% avec le traitement #3 (voir tableau 2.1). Le tableau 2.24 indique que la majorité du Zn est enlevée dans les deux premières fractions (NaOAc et 3b), ce qui explique les bons rendements d'enlèvement de  $M^{2+}$ . Notamment, la fraction 3b passe de 473 ug Zn/g à 97.4 ug Zn/g suite à l'application du traitement au NaCl (voir tableau 2.24).

Pour le Cu, la diminution de  $M^{2+}$  est plus faible; i.e. 36% avec le traitement #4 plutôt que 50% avec le traitement #3. En fait le tableau 2.24, indique une légère augmentation du Cu suite à l'application du traitement au NaCl (de 8.7 nmole/L à 9.1 nmole/L), ce qui explique le plus faible rendement d'enlèvement de  $M^{2+}$ . Peu

ou pas du tout de Cu est enlevé dans la fraction 3b, la majeure partie du Cu se trouvant dans la fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

La diminution de Ni suite à l'application du traitement combinée à une augmentation de Fe (8571 ug/g à 14150 ug/g, voir annexe 29fiii), expliquent les bons rendements d'enlèvement de l'ion libre dans ce cas.

Pour le sédiment #6, le Pb est diminué de 48% par rapport à sa teneur initiale totale, le Zn de 71%, le Cu de 19% et le Cd de 67% (voir tableau 2.21). Pour ce qui est de la diminution de M<sup>2+</sup>, elle est de 80% pour le Pb, 96% pour le Zn, nulle pour le Cu et 72% pour le Cd (voir tableau 2.1). Le tableau 2.25 présente la répartition de ces métaux dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.25 Répartition du Pb, Zn, Cu et Cd dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #6: traitement #4 (t après traitement= 48 heures).

Fractions	Pb (ug/g)		Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Cd (ug/g)	
	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.
Total	479	241	9717	2628	551.4	356.0	45.9	13.5
NaOAc	69.1	77.9	617	92.2	0.62	20.8	0.14	0.57
3b	273	76.2	5987	345	2.8	4.7	28.2	0.52
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	49.8	16.2	1964	976	350	148	8.9	2.9
HF	87.0	71.0	1149	1215	198.0	182.5	8.8	9.4

Les rendements d'enlèvement du Pb dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement au NaCl sont largement supérieurs à ceux obtenus avec le traitement chimique (voir tableau 2.1). Après 48 heures, il ne reste que 311 mg Pb/kg sédiment sec dans les

sédiments traités et filtrés lors de l'application du traitement au NaCl, comparativement à 410 mg Pb/kg sédiment sec, lors de l'application du traitement chimique #1 (voir tableau 2.21 et 2.4). Les valeurs de pH et de POR dans l'essai au NaCl sont de 3.05 et 391 mV alors qu'elles sont près de 2.5 et 300 mV dans les essais chimiques (voir annexe 26a et 29a). Dans le cas du sédiment #6, les conditions oxydantes créées par la solubilisation biologique semblent donc favoriser l'enlèvement du Pb. Le traitement de décantation et d'enlèvement par le sel ainsi que le rinçage, augmentent l'enlèvement du Pb de près de 20%, i.e. que la diminution du Pb dans les sédiments traités et filtrés passe de 311 à 243 mg Pb/kg sédiment sec (voir tableau 2.21). Le tableau 2.25 indique que la majorité de l'enlèvement du Pb se fait dans la fraction 3b et, dans une moindre mesure, dans la fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

L'efficacité d'enlèvement du Zn sont également plus élevées avec l'application du traitement au sel que celle avec le traitement chimique #1 (voir tableau 2.1). Plus de 50% du Zn est contenu dans la fraction 3b et c'est dans cette fraction qu'il y a le plus grand enlèvement (94%). La fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> arrive en deuxième rang pour la teneur en Zn dans le sédiment #6 (20%). Et l'enlèvement dans cette fraction arrive également au second rang après la fraction 3b. Ces résultats montrent donc une spéciation un peu particulière pour le sédiment #6 fortement contaminé en Zn, alors que pour les sédiments #3 et #11, le Zn était surtout contenu dans les deux premières fractions NaOAc et 3b (voir tableau 2.8 et annexe 26fiii).

Le Cu est faiblement enlevé dans le sédiment #6 et il est difficile d'expliquer pourquoi suite au traitement la fraction NaOAc augmente sa teneur en Cu (voir tableau 2.25). Toutefois, les valeurs de potentiel-rédox inférieures à 400 mV (voir annexe 29a), lors de l'application du traitement peuvent probablement expliquer le faible rendement d'enlèvement obtenu pour cet élément. La solubilisation du Cu dépendant beaucoup du POR pour lequel il faut une valeur seuil.

Le traitement au sel assure de bons rendements d'enlèvement du Cd dont la majeure partie (plus de 50%) est comprise dans la phase 3b (voir tableau 2.25) et est enlevée en majorité dans cette phase, lors de l'application du procédé de solubilisation. Dans le cas du Hg, malgré qu'un enlèvement total théorique de 100% était anticipé (voir annexe 29c), il est difficile d'affirmer de façon certaine que le traitement au sel en permette la solubilisation, puisque l'étude n'a pas été faite en duplicata et qu'il y a eu quelques problèmes analytiques. Cette étude devrait donc être répétée avant de pouvoir tirer une conclusion .

Pour le Pb, le Zn et le Cd, les hauts pourcentages de diminution de  $M^{2+}$  s'expliquent par la grande réduction de ces métaux dans la fraction 3b suite à l'application du traitement au sel. L'augmentation de la teneur en Fe après l'application du traitement au sel, de 1200 ug/g à 16800 ug/g (voir annexe 29fiii, sédiment #6), contribue aussi à la diminution de l'ion libre. Dans le cas du Cu, il n'y a pas de diminution de l'ion libre dont la concentration est même augmentée dans la fraction 3b. En fait pour

cet élément, le seul enlèvement intervient dans la fraction  $H_2O_2$  (voir tableau 2.25).

Pour le sédiment #11, l'enlèvement des métaux par rapport à la teneur totale initiale, atteint 47, 80, 54, 20 et 13% pour le Pb, le Zn, le Cu, le Ni et le Cr respectivement (voir tableau 2.22). La diminution de  $M^{z+}$  est de 85, 96, 65 et 87% pour le Pb, le Zn, le Cu et le Ni (voir tableau 2.1).

Mis à part le Pb, les résultats d'enlèvement totaux obtenus pour le sédiment #11 avec le traitement au sel, sont semblables à ceux obtenus avec le traitement de solubilisation chimique #1 (voir tableaux 2.6 et 2.22). Il ne semble donc pas que les étapes supplémentaires du traitement au sel, soit la décantation et le traitement de solubilisation au NaCl suivis des rinçages, augmentent la solubilisation des métaux (voir tableaux 2.6 et 2.22): l'enlèvement du Pb est même diminué de 62 à 47% (voir tableau 2.1).

Le tableau 2.26 indique la spéciation du Pb lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11 avec la solubilisation chimique (traitement #1) et la solubilisation biologique au sel (traitement #4).

Tableau 2.26 Répartition du Pb dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #1 et traitement #4.

Fractions	Traitement #1 Pb(ug/g)		Traitement #4 Pb(ug/g)	
	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=29h)	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=29h)
Total	372.8	138.9	378.0	198.0
NaOAc	157.0	32.64	158.3	48.5
3b	114.9	48.2	145.9	62.1
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	19.4	26.0	32.2	19.0
HF	79.2	32.0	42.0	61.5

D'après ce tableau, il semble que l'enlèvement un peu plus élevé dans les deux premières fractions (NaOAc et 3b, voir tableau 2.26), expliquerait la différence de 15% de l'enlèvement total entre les traitements #1 et #4. Il est possible que les moins bons rendements du traitement au sel pour l'enlèvement du Pb (traitement #4), soient dus aux 250 mg/L de sulfates qui n'étaient que de 5 mg/L pour le traitement #1 (voir annexes 26 et 29c).

Par contre si l'enlèvement global de tous les métaux est semblable pour ce qui a trait aux procédés de solubilisation #1 et #4, la diminution de  $M^{2+}$  dans le cas du traitement au sel (traitement #4) est nettement supérieure à celle du traitement chimique (traitement #1), dépassant même l'enlèvement global la plupart du temps. Avec le traitement chimique (#1), peu de diminution de  $M^{2+}$  avait pu être observée (voir tableau 2.1).

La concentration de Fe insoluble qui augmente suite à l'application du traitement au sel, en raison de l'ajout de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (la teneur en Fe dans la fraction 3b passe de 7412 à 21240 ug/g, voir annexe 29fiii), explique la diminution de  $\text{M}^{2+}$  observée. La biodisponibilité de l'ion libre décroît avec l'augmentation de la concentration de Fe. Par ailleurs, il ne semble pas que la concentration de sel utilisée pour la solubilisation des métaux dans le traitement au sel, affecte la solubilisation des métaux. En effet, les rendements d'enlèvement des métaux avec un traitement au sel, 0.5 M ou 0.2 M, sont semblables (voir tableaux 2.22 et 2.23).

En conclusion le traitement au sel n'a pas augmenté l'enlèvement des métaux comme la théorie le laissait prévoir (surtout dans le cas du Pb). Toutefois de meilleurs résultats ont été obtenus avec ce type de traitement (#4) plutôt que le traitement chimique (#1) dans le cas du sédiment #6. Mais les coûts du traitement, ainsi que sa complexité accrue à cause du recyclage du NaCl sont des désavantages importants pour ce type de traitement.

2.1.5 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel (sans acidification des sédiments au départ).

Le traitement #5 au sel, consiste en un traitement biologique



sans acidification préalable des sédiments à pH=4 afin de diminuer les coûts et les difficultés posés par l'acidification. Le substrat  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (20% p/p) est ajouté aux sédiments, de même que l'inoculum (20% v/v). Après 48 heures de traitement, les sédiments sont décantés et le volume du surnageant est remplacé par une solution de NaCl (0.5 M), d'un volume qui permet de retrouver le volume d'avant la décantation. Puis, après 2 heures, les sédiments sont de nouveau décantés et rincés avec un volume d'eau distillée égal à deux fois celui des sédiments décantés.

Le coût total d'un traitement au sel, sans acidification des sédiments au départ atteint 55 \$/t sédiment sec (voir tableau 2.1). Ce coût se rapproche de celui du traitement au sel avec acidification des sédiments au départ (traitement #4) parce qu'une plus grande quantité de sulfate ferreux est requise pour atteindre des conditions permettant la solubilisation des métaux, soit 20% (p/p) au lieu de 5% (p/p). Toutefois, l'avantage réel du procédé est qu'il est plus simple et plus facile à utiliser.

Seul le sédiment #11 a été traité avec un tel type de traitement et les résultats d'enlèvement totaux des métaux sont présentés au tableau 2.27. En terme d'enlèvement total des métaux et de la diminution de  $\text{M}^{2+}$ , suite à l'application du traitement #5, les résultats obtenus avec les deux procédés au sel avec et sans acidification de sédiments, sont semblables (voir tableau 2.22, 2.27 et 2.1), ce qui indique que l'acidification préalable des sédiments peut être remplacée par l'ajout d'une plus grande quantité de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Ceci est un avantage appréciable.

Tableau 2.27: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  complété par une décantation et un traitement au sel (0.5 M) sans acidification des sédiments au départ.

Métaux	Teneur en métaux			Enlèvement (%)			
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)			Enlèvement (%)		
		0h	48h	50h	rinçage	48h	50h
Pb	374.4	267.4	178.9	174.9	28.6	52.2	53.5
Cu	123.2	53.5	44.9	44.1	56.6	62.8	64.2
Zn	1949	584.2	453.3	424.0	70.0	76.6	78.2
Mn	435.7	381.9	367.7	343.5	12.6	15.8	21.3
Ni	71.1	57.9	59.6	60.4	18.5	16.1	15.1
Cr	170.6	164.9	160.6	150.9	3.4	5.9	11.6
Fe	60138	97096	94400	84252	0	0	0
Hg	2.32	--	--	2.5	--	--	0

Toutefois les conclusions sont les mêmes que celle du procédé de solubilisation au sel (traitement #4); des coûts relativement élevés et une solubilisation du Pb qui demeure autour de 50%.

#### 2.1.6 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ suivi d'une décantation et d'un traitement au $\text{FeCl}_3$ (sans acidification des sédiments au départ).

Le protocole suivi pour le traitement #6 (voir tableau 2.1) est le même que celui pour le traitement #5, sauf qu'au lieu de remplacer le volume du surnageant lors de la décantation des sédiments après 48 heures par une solution de sel, c'est du  $\text{FeCl}_3$  qui est ajouté. Donc 0.08 mL  $\text{FeCl}_3$ /g sédiment sec est ajouté dans un volume d'eau égal à deux fois celui des sédiments décantés.

Puisqu'il n'y a plus de boucle requise pour le recyclage du NaCl, le coût total du procédé biologique avec  $\text{FeCl}_3$  n'est que de 33 \$/t sédiment sec au lieu de 55 \$/t sédiment sec dans le cas du procédé au sel (voir tableau 2.1). C'est le coût le moins élevé de tous les traitements étudiés (voir tableau 2.1). Ce procédé est aussi très simple d'application puisqu'aucune acidification préalable des sédiments n'est requise.

Seul le sédiment #11 a été traité avec le procédé biologique au  $\text{FeCl}_3$  (traitement #6). Les résultats d'enlèvement totaux des métaux sont présentés au tableau 2.28: ils sont de 52% pour le Pb,

**Tableau 2.28:** *Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O complété par une décantation et un traitement au FeCl<sub>3</sub> (0.08 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd. sec) sans acidification des sédiments au départ.*

Métaux	Teneur en métaux				Enlèvement (%)				
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)							
	0h	7h	7.6h	9h	rinçage	7h	7.6h	9h	rinçage
Pb	374.4	288.4	206.3	199.6	210.3	25.4	46.9	48.4	45.6
Cu	123.2	51.3	46.2	47.3	41.5	60.2	64.2	63.3	67.8
Zn	2022	582.8	459.6	474.9	422.1	71.2	77.3	76.5	79.1
Mn	437.5	384.8	371.4	375.5	343.9	12.0	15.1	14.1	21.4
Ni	60.7	51.3	56.5	63.0	70.1	15.9	6.9	0	0
Cr	174.4	173.1	164.3	162.8	168.7	0.77	5.8	6.6	3.2
Fe	60500	100124	98348	103832	8472	0	0	0	0
Hg	2.32	--	--	--	2.4	--	--	--	0

78% pour le Zn, 70% pour le Cu, 0% pour le Ni et 4% pour le Cr (voir tableau 2.28). Dans le cas de  $M^{2+}$ , la diminution suite à l'application du traitement est de 84%, 90%, 76% et 82% pour le Pb, Zn, Cu, et Ni respectivement (voir tableau 2.1).

Le tableau 2.29 indique la répartition du Pb, Zn, Cu, Ni et Cr entre les différentes fractions lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.29 Répartition du Pb, Zn, Cu, Ni et Cr dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #6 (t après traitement=48 heures).

Fractions	Pb (ug/g)		Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Ni (ug/g)		Cr (ug/g)	
	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.
Total	361.5	200.0	1778	387.5	124.9	47.2	70.0	54.0	168.7	164.4
NaOAc	158.8	35.5	945.5	30.4	8.2	0.78	4.5	1.8	7.5	6.7
3b	110.0	52.2	640.7	201.8	4.7	3.4	10.2	5.4	38.0	44.0
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	17.8	5.8	98.6	61.0	82.0	24.0	8.2	6.2	20.2	12.6
HF	75.0	106.5	93.1	94.3	30.0	19.0	47.0	46.0	103.0	101.0

Les enlèvements du Pb et du Zn obtenus avec le traitement #6 sont semblables à ceux trouvés avec le traitement biologique au sel, avec et sans acidification des sédiments au départ; i.e. 52% et 78% pour le Pb et le Zn, avec le traitement biologique au FeCl<sub>3</sub> versus 53 et 47% pour le Pb et 79 et 80% pour le Zn, pour les traitements au sel #5 et #4 (voir tableau 2.1).

Les rendements d'enlèvement du Cu sont un peu plus élevés avec le traitement biologique au FeCl<sub>3</sub> que lors de l'application des traitements au sel (#4 et #5); i.e. 70% versus 54 et 64% pour les traitements #4 et #5. Les plus basses valeurs de pH et les plus hautes valeurs de POR observées suite à l'ajout de FeCl<sub>3</sub> pour le traitement #6, expliquent possiblement les meilleures performances

de ce traitement pour la solubilisation du Cu. Tel qu'indiqué dans les annexes 30a et 31a, lors de l'application du traitement biologique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (traitement #6), suite à l'ajout de  $\text{FeCl}_3$ , le pH et le POR moyens sont de 2.27 et 546 mV, comparativement à un pH et un POR moyens de 2.53 et 496 mV lors de l'application du traitement au sel sans acidification des sédiments (traitement #5). L'ajout de  $\text{FeCl}_3$ , comparativement à l'ajout de sel, semble favoriser la diminution du pH et la montée du POR, ce qui contribue à augmenter la solubilisation du Cu, laquelle dépend beaucoup du POR (Couillard et al., 1991).

L'enlèvement du Ni est nul. Si l'enlèvement trouvé lors du suivi des métaux (voir tableau 2.28) est comparé à l'enlèvement trouvé lors de l'extraction sélective, i.e. 0% lors du suivi des métaux versus 23% pour les métaux totaux (voir total, tableau 2.29), tout semble indiquer une certaine variabilité expérimentale dans l'analyse du Ni dans les sédiments traités et filtrés. Ainsi la teneur trouvée dans les sédiments après rinçage (voir tableau 2.28) est un peu élevée (70 mg/kg sédiment sec) par rapport aux teneurs trouvées entre 48 et 51 heures (entre 51 et 63 mg/kg sédiment sec), et laisse croire à une contamination des échantillons rincés. Il est à rappeler que le suivi des métaux provient de l'analyse des métaux totaux faite sur les sédiments filtrés à différents moments au cours des expériences (digestion totale à l'acide perchlorique) et que les métaux totaux (ou total) dans les tableaux d'extraction sélective proviennent de l'addition des différentes fractions obtenues suite à l'application de la

méthode du lessivage sélectif (Tessier et al., 1979). Il n'en demeure pas moins que le Ni se solubilise très peu avec le traitement #6, tout comme dans le cas des autres traitements de solubilisation (#1 à #5). La majeure partie du Ni est enlevée dans les deux premières fractions (NaOAc et 3b, voir tableau 4.29). Encore ici, le fait que plus de 65% du Ni se trouve dans la fraction résiduelle explique la difficulté à solubiliser cet élément.

L'enlèvement du Cr demeure très faible. Tout comme le Ni, cet élément se trouve en majorité (i.e. 60%) lié à la fraction résiduelle (voir tableau 2.29). Etant donné que les métaux liés à cette fraction correspondent aux métaux liés aux minéraux, l'enlèvement du Cr lors de l'application du traitement biologique est difficile.

Mis à part le Cu, dont la diminution de  $M^{2+}$  est un peu plus élevée avec le traitement #6, pour le Pb, le Zn et le Ni, la diminution de l'ion libre dans les sédiments après traitement, comparativement à sa teneur initiale dans les sédiments, est semblable pour les traitements #4, #5, #6. C'est-à-dire que l'acidification des sédiments au départ, ainsi que l'ajout de sel plutôt que de  $FeCl_3$ , ne semble pas influencer la biodisponibilité des métaux. L'enlèvement plus élevé du Cu dans la fraction 3b i.e. sa réduction de 4.7 ug/g à 3.4 ug/g (voir annexe 31fiii), explique les plus fortes diminutions de  $M^{2+}$  pour cet élément.

En conclusion, les rendements d'enlèvement obtenus lors de l'application du procédé de solubilisation biologique avec ajout de

$\text{FeCl}_3$  (traitement #6), sont semblables à ceux trouvés avec les procédés au sel (traitement #4 et #5). L'acidification des sédiments n'est donc pas requise. De même, l'ajout de  $\text{FeCl}_3$  donne d'aussi bons résultats que l'ajout de  $\text{NaCl}$ , à moindre coût. C'est donc un procédé prometteur.

### 2.1.7 Procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au $\text{FeCl}_2$ suivi d'une décantation et d'une acidification des sédiments à $\text{pH} = 1.75$

Le traitement #7 consiste en un procédé de solubilisation biologique, à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeCl}_2$ , tel que vu au chapitre 3 du premier rapport (voir sections 3.1 et 3.2 du premier rapport). Les sédiments sont acidifiés au départ avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , puis l'inoculum (20%, v/v) et le substrat (2% Fe avec  $\text{FeCl}_2$ ) sont ajoutés. Après 48 heures de traitement pour le sédiment #11 et 72 heures de traitement pour le sédiment #6, les sédiments sont décantés et acidifiés à  $\text{pH}=1.75$  avec  $\text{HCl}$ .

Ce traitement biologique présente l'avantage de diminuer la teneur en sulfate et d'augmenter la concentration d'ions  $\text{Cl}^-$ , en raison de l'utilisation du  $\text{FeCl}_2$  comme substrat. Comme il a été vu au chapitre 3 du premier rapport (voir section 3.1.3.2c du premier rapport), la diminution de la teneur en soufre et l'augmentation de celle en chlorure favorisent la solubilisation du Pb (voir tableaux 3.7 à 3.9 du premier rapport). De même la décantation et



l'acidification en fin de procédé ont été faites pour hausser les rendements d'enlèvement des métaux.

Le coût total du procédé varie selon le sédiment à acidifier. En effet, la composition différente des sédiments leur confère des propriétés tampons caractéristiques (voir tableau 2.2 du premier rapport). Dans le cas présent, l'acidification du sédiment #6 requiert beaucoup plus d'acide, de sorte que les coûts varieront entre 44.00 à 61.00 \$/t sédiment sec. Ces coûts sont relativement élevés comparativement aux autres traitements (voir tableau 2.1).

Le traitement #7 a été expérimenté avec les sédiments #6 et #11, en raison de la haute teneur en Pb de ces sédiments. Les résultats d'enlèvement des métaux totaux sont présentés aux tableaux 2.30 et 2.31.

Dans le cas du sédiment #6, les rendements d'enlèvement des métaux sont plus élevés qu'avec le traitement chimique (traitement #1, voir tableau 2.1), et supérieurs pour certains métaux au traitement biologique avec sel (traitement #4). Pour le Pb, le Zn, le Cu et le Cd, l'enlèvement atteint 41, 77, 55 et 84% avec le traitement #7 comparativement à 48, 71, 19 et 67% avec le traitement #4 (voir tableaux 2.30 et 2.21). Tel qu'il est possible de le constater au tableau 2.30, la décantation et l'acidification après 72 heures augmentent l'enlèvement du Pb (21% avant et 41% avant et après décantation) et du Cu dans une moindre mesure (44% et 56 % avant et après décantation).

Le tableau 2.32 indique la répartition du Pb, du Zn, du Cu et du Cd entre les différentes fractions lors de l'extraction

Tableau 2.30: Suivi des métaux dans le sédiment #6 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> complété par une décantation et une acidification des sédiments à pH1.75 avec HCl après 71 heures.

Métaux	Teneur en métaux				Enlèvement (%)	
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				
		0h	71h	78h	71h	78h
Pb	422	332.5	249.8	21.2	40.8	
Cu	486	271.3	215.7	44.2	55.6	
Zn	9850	2693	2279	72.7	76.8	
Mn	406	111.7	101.2	72.5	75.1	
Ni	39.5	31.9	33.6	19.3	15.1	
Cr	145	173.6	172.2	0	0	
Fe	165892	175549	166220	0	0	
Cd	65	15.2	13.1	76.6	79.9	
Hg	15.8	14.5	16.0	8.2	2.5	

Tableau 2.31: Suivi des métaux dans le sédiment #11 lors de l'application du traitement de solubilisation biologique avec une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> complété par une décantation et une acidification des sédiments à pH1.75 avec HCl après 71 heures.

Métaux	Teneur en métaux				Enlèvement (%)	
	Sédiment avant traitement (mg/kg séd.sec)	Sédiment après traitement (mg/kg séd.sec)				
		0h	45h	77h	45h	77h
Pb	306	253.2	173.7	17.3	43.2	
Cu	120	49.2	36.2	58.9	69.8	
Zn	2437	338.1	260.8	86.1	89.3	
Mn	692	251.9	200.6	63.6	71.0	
Ni	76.3	73.86	60.4	3.3	20.8	
Cr	161	211.1	183.4	0	0	
Fe	69757	62044	52252	11.1	25.1	
Cd	5	0.64	0.77	87.2	84.5	
Hg	2.32	1.8	2.3	22.4	0	

sélective.

Tableau 2.32 Répartition du Pb, Zn, Cu et Cd dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #6: traitement #7 (t après traitement= 74 heures).

Fractions	Pb (ug/g)		Zn (ug/g)		Cu (ug/g)		Cd (ug/g)	
	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.	Avant trait.	Après trait.
Total	475	287.2	9563	2267	542.0	212.7	45.6	13.0
NaOAc	75.4	75.9	650.0	200.1	0.57	5.6	0.15	1.2
3b	268.8	75.3	5816	278.9	2.08	1.7	28.2	0.63
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	48.0	30.0	1914	730.0	347	78.4	8.5	2.7
HF	83.2	114.0	1183	1056	191.0	127.0	8.7	8.5

La différence de rendement observée pour l'enlèvement du Pb (41 % avec le traitement #7 versus 48% avec le traitement #4) peut possiblement s'expliquer par le plus faible enlèvement du Pb dans la fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lors de l'application du traitement biologique avec FeCl<sub>2</sub>; ainsi il reste 30 ug Pb/g avec le traitement #7 et 16.2 ug Pb/g avec le traitement au sel (voir tableaux 2.25 et 2.32). La spéciation du Pb est semblable pour le traitement biologique au sel (traitement #4) et celui au FeCl<sub>2</sub> (traitement #7). La moitié du Pb présent se trouve dans la fraction 3b, et le Pb enlevé provient en majorité de cette fraction. Il n'y a pas de Pb enlevé dans la fraction NaOAc.

Comme dans le cas du traitement #4, le Zn dans le sédiment #6 fortement contaminé pour cet élément, se trouve surtout dans la fraction 3b (voir tableau 2.32). Et c'est également dans cette fraction qu'à lieu le plus grand enlèvement (près de 95%).

Dans le cas du Cu, l'enlèvement est plus grand avec le

traitement #7 (voir tableau 2.1). En fait jamais d'aussi bons rendements d'enlèvement du Cu n'avait été obtenus dans ce sédiment. Les conditions de pH et surtout de POR expliquent sûrement ces meilleurs rendements. Ainsi les annexes 31a et 29a, indiquent un pH et un POR moyens de 1.75 et 544 mV pour le traitement #7 comparativement à un pH de 3.21 et un POR de 380 mV pour le traitement #4. Le tableau 2.32 indique que la majorité du Cu provient de la fraction  $H_2O_2$  laquelle contient d'ailleurs la majorité du Cu présent dans le sédiment #6. Après l'application du traitement #7, il ne reste que 78 ug/g dans la fraction  $H_2O_2$ , alors qu'il en restait 148 ug/g suite à l'application du traitement #4.

Une augmentation du Cu (soit de 0.5 à 5.6 ug/g) a aussi été observée dans le sédiment #6, dans la fraction NaOAc, suite à l'application du traitement #7; (voir tableau 2.32). C'est comme si le procédé de solubilisation changeait la spéciation du Cu: une certaine partie du Cu enlevée dans la fraction  $H_2O_2$  a peut-être été transférée dans la fraction NaOAc; ce qui avait été également constaté lors de l'application du procédé au sel (voir tableau 2.25). Toutefois dans le procédé présentement étudié, l'augmentation de la teneur en Cu est beaucoup moins grande que lors de l'application du traitement #4 alors que la teneur en Cu dans la fraction NaOAc passait alors de 0.6 à 20.8 ug/g (voir tableau 2.25).

La spéciation du Cd est semblable suite à l'application du procédé d'enlèvement des métaux avec  $FeCl_2$  à celle observée après

le traitement au sel (voir tableaux 2.25 et 2.32). Toutefois l'enlèvement total est supérieur avec le traitement au  $\text{FeCl}_2$ , soit 84% pour le traitement #7 et seulement 67% pour le traitement #4. La majorité de l'enlèvement du Cd se fait dans la fraction 3b qui contient plus de la moitié du Cd total présent dans le sédiment #6. Ces résultats indiquent aussi que le Cd atteint de bons rendements de solubilisation dans le sédiment #6 fortement contaminé par cet élément, suite à l'application du traitement de solubilisation biologique #7.

La diminution de l'ion libre suite à l'application du traitement montre que les rendements sont très bons pour tous les métaux étudiés (voir tableau 2.1). Il faut se rappeler que l'augmentation de la teneur initiale du Fe de 12142 à 28631 ug/g après 74 heures (voir annexe 32fiii), explique pourquoi il y a une diminution de l'ion libre lors de l'application d'un traitement biologique comparativement à un traitement chimique.

Le sédiment #6 est aussi contaminé en Hg. Avec 2.5% d'enlèvement du Hg, il semble que le procédé de solubilisation biologique avec  $\text{FeCl}_2$  n'est pas plus efficace que les autres procédés pour enlever le Hg.

Dans le cas du sédiment #11, l'enlèvement du Pb est de 43% avec le traitement #7, plutôt que 47 à 53% d'enlèvement avec les autres traitements biologiques (traitements #4, #5 et #6, voir tableau 2.1). Pour le Zn, les rendements sont de 89% avec le traitement #7, alors que pour le Cu et le Ni, ils sont de 69.6 et 21% respectivement. Dans le cas du Cr, l'enlèvement est nul et

même la concentration augmente (voir tableau 2.31).

Pour le sédiment #4, la diminution de l'ion libre suite à l'application du traitement de solubilisation avec  $\text{FeCl}_2$  (traitement #7), comparativement aux autres traitements biologiques (voir traitements #4, #5 et #6), est semblable pour le Pb, le Zn, le Cu, soit 78%, 84.6% et 77% respectivement alors qu'elle est moins élevée dans le cas du Ni avec 51% (voir tableau 2.1).

Pour l'enlèvement du Pb, il ne semble pas y avoir de différence significative entre les traitements biologiques. La teneur trouvée dans les sédiments après traitement varie autour de 180 mg/kg sédiment sec (voir tableaux 2.3, 2.22, 2.27, 2.28 et 2.31).

Les rendements d'enlèvement du Zn sont un peu plus élevés et ce même avant la décantation (voir tableau 2.31). Les conditions de pH et POR optimales, lors des essais, expliquent possiblement ces plus hauts rendements. Dans le cas du Cu et du Ni, les rendements sont sensiblement égaux pour les différents traitements biologiques. Pour ce qui est du Cr, une certaine contamination amenée dans le  $\text{FeCl}_2$  peut être soupçonnée responsable de l'augmentation du Cr dans les sédiments traités et filtrés (voir tableau 2.31): en effet le  $\text{FeCl}_2$  est un résidu industriel qui peut contenir certains métaux et les analyses (voir tableau 2.3 du premier rapport) ont montré que la solution de  $\text{FeCl}_2$  contient 175 mg Cr/L. En considérant la quantité de  $\text{FeCl}_2$  ajoutée (4.91 mL) lors des essais et la teneur initiale en Cr dans les sédiments (161 mg/kg), on peut dire que 11% du Cr présent provient du  $\text{FeCl}_2$ . Cet

ajout de Cr explique donc la contamination plus élevée des sédiments traités et filtrés par rapport aux sédiments de départ (brut). Etant donné que le Cr est un élément difficile à solubiliser, dans l'éventualité de l'utilisation de  $\text{FeCl}_2$  comme substrat, il demeure de première importance que le fournisseur de  $\text{FeCl}_2$  garantisse un produit très peu contaminé en Cr.

L'augmentation du Fe dans la fraction 3b, (de 16600 ug/g à 21800 ug/g) suite au traitement, combinée à une diminution des métaux dans cette fraction (voir annexe 32fiii) assurent une diminution de l'ion libre dans les sédiments traités par rapport aux sédiments de départ. Cette diminution ne semble pas varier avec le type de traitement biologique appliqué et donc de substrat utilisé, sauf dans le cas du Ni, pour lequel les rendements d'enlèvement de  $\text{M}^{2+}$  sont inférieurs de 30% (voir tableau 2.1). Le tableau 2.33 indique la spéciation du Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective.

Tableau 2.33 Répartition du Ni dans les différentes fractions lors de l'extraction sélective dans le sédiment #11: traitement #7.

Fractions	Ni (ug/g)	
	Avant trait. (t=0h)	Après trait. (t=52h)
Total	73.1	57.2
NaOAc	4.41	1.26
3b	10.4	6.7
$\text{H}_2\text{O}_2$	8.1	6.7
HF	47.2	42.5

La spéciation du Ni entre les différentes fractions est

semblable suite au traitement #7 et au traitement #6 (voir tableaux 2.33, 2.29). Il est donc probable que la plus faible augmentation de Fe, après le traitement #7 (de 16600 ug/g à 21800 ug/g), explique les moins bons rendements quant à  $M^{2+}$ , que ceux du traitement #6, pour lequel le Fe augmente de 15600 à 46900 ug/g.

En conclusion, ce type de traitement a donné avec le sédiment #6, de bons résultats comparativement au traitement chimique. De plus, dans le cas du Cu, les rendements d'enlèvement atteints avec le traitement biologique au  $FeCl_2$  (traitement #7), sont supérieurs à ceux obtenus avec le traitement biologique au NaCl (traitement #4). Toutefois les rendements d'enlèvement du Pb demeurent relativement bas (autour de 42%), et ce malgré l'augmentation de chlorures et la diminution des ions sulfates. La contamination en Cr amenée par le substrat pose aussi un problème. Enfin les coûts du procédé sont relativement élevés comparativement aux autres procédés.

#### 2.1.8 Détermination du(des) procédé(s) potentiellement le(s) plus applicable(s)

Il s'agit de déterminer ici à la lumière des conclusions tirées des différents traitements étudiés aux sections 2.1.1 à 2.1.7, le(s) traitement(s) potentiellement le(s) plus intéressant(s). Tous les traitements étudiés se sont révélés incapables d'enlever le Hg (analyse à refaire dans le cas du traitement #4 pour le Hg dans le sédiment #6), non plus que de



réduire le Ni et le Cr à plus de 20 et 28%. L'enlèvement de chacun de ces éléments dans les sédiments qui en contiennent, devra être étudié de façon spécifique et individuelle.

Les traitements au sel, avec ou sans acidification des sédiments au départ (traitements #4 et #5), sont à rejeter. Ceci en raison de leurs coûts élevés et de leur efficacité de solubilisation du Pb qui n'est pas supérieur à celles des autres traitements moins coûteux. Le traitement de solubilisation biologique des métaux avec  $\text{FeCl}_2$  (traitement #7) n'est également pas retenu en raison de son coût relativement élevé, du problème de contamination au Cr amené par le  $\text{FeCl}_2$ , et de l'efficacité de solubilisation du Pb plutôt moyen.

Le traitement chimique (traitement #1) présente les désavantages d'être relativement coûteux (41.00 à 100.00 \$/t sédiment sec) en raison des coûts d'acidification, de ne pas assurer un enlèvement de  $\text{M}^{2+}$  suite à l'application du traitement et de ne pas pouvoir assurer une solubilisation adéquate pour tous les sédiments (par exemple, le sédiment #6). Le principal avantage de ce procédé est un enlèvement satisfaisant du Pb total. Par contre, le  $\text{M}^{2+}$  pour le Pb n'est pas diminué car le Fe est sous forme soluble et ne peut donc pas lier les métaux disponibles. En raison des désavantages posés par ce type de traitement chimique, celui-ci est mis de côté, temporairement du moins.

Pour des sédiments faiblement contaminés en Pb, le traitement biologique standard (traitement #3), sans acidification des sédiments à  $\text{pH}=1.75$  en fin de procédé, pourrait assurer une

décontamination adéquate des sédiments à très faible coût (de 4.00 à 13.00 \$/t sédiment sec).

Le traitement de solubilisation biologique sans acidification des sédiments au départ (traitement #6) présente des avantages certains. Outre son coût relativement peu élevé (33 \$/t sédiment sec), les conditions de pH et de POR sont bonnes à cause de l'ajout de  $\text{FeCl}_3$  et aucune acidification préalable des sédiments n'est requise, ce qui facilite de beaucoup les opérations. Les rendements d'enlèvement des métaux et de  $\text{M}^{2+}$  sont satisfaisants, toutefois l'enlèvement réel du Pb devrait être optimisé. Il serait également intéressant d'étudier ce type de traitement avec des sédiments fortement anoxiques (tel le sédiment #6).

Le traitement #2 ressemble au traitement #6, sauf qu'il n'y a pas de traitement biologique comme tel: aucune inoculation et un temps de traitement plus court (tout se fait à l'intérieur de 24 heures). Le coût du traitement est peu élevé et les rendements d'enlèvement des métaux sont intéressants. Toutefois l'enlèvement du Pb devrait être optimisé. Enfin, en ce qui a trait à l'enlèvement du Cr, l'ajout d' $\text{H}_2\text{O}_2$  demeure une avenue à explorer. Par contre l'augmentation du Fe suite au traitement #2 est faible, ce qui laisse supposer que la diminution de la concentration de  $\text{M}^{2+}$  ne sera pas élevée: en effet la teneur en Fe augmente de 15000 mg/kg sédiment sec dans le cas du traitement #2 (voir tableau 2.12), alors qu'elle augmentait d'environ 40000 mg/kg avec le traitement #6 (voir tableau 2.25).

En conclusion, il est recommandé de faire des essais de

solubilisation des métaux à partir d'un traitement de solubilisation biologique sans acidification préalable des sédiments, suivi d'une décantation et d'ajout de  $\text{FeCl}_3$ . La nécessité d'un rinçage pour augmenter l'enlèvement des métaux, de même, que la quantité optimale de  $\text{FeCl}_3$  à ajouter dans le but d'optimiser l'enlèvement du Pb, sont à déterminer. Des essais avec ajout de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (en fin de traitement pour ne pas tuer les bactéries) sont aussi à expérimenter afin d'augmenter la solubilisation du Cr. Ce traitement devra aussi être étudié avec différents types de sédiments.

## **2.2 Différents aspects concernant le procédé applicable.**

Cette section vise à étudier de plus près différents aspects du procédé d'enlèvement des métaux retenus, i.e. dans ce cas-ci le procédé de solubilisation biologique et chimique des métaux avec une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  (sans acidification des sédiments au départ).

### **2.2.1 La solubilisation de l'As, du P, du S, de l'Al, du Ca et du Mg.**

Les résultats d'enlèvement de l'As avec le traitement biologique suivi d'une décantation et de l'ajout de  $\text{FeCl}_3$  sont indiqués à l'annexe 31c. Ainsi l'ajout de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et des bactéries au début de l'expérience entraîneraient une diminution de 35.3% de l'As initialement présent. Par contre après 48 heures de traitement, il n'y a pas de diminution supplémentaire de l'As (voir annexe 31c). Cependant il demeure difficile de conclure à

partir de cette étude, car les résultats d'As faites en duplicata dans le cas des autres traitements (voir annexes 26c à 32c), sont très variables. Il semble qu'il y ait un problème avec la méthode de digestion utilisée et les analyses devront être reprises.

La solubilisation du phosphore lors de l'application du traitement de solubilisation biologique suivi d'une décantation et de l'ajout de  $\text{FeCl}_3$  ne dépasse pas 1%. Quant au soufre il est sous forme de sulfate durant la première partie du traitement (phase biologique) et sa concentration se situe à près de 411 mg/L (voir annexe 31a). Le sulfate provient en majorité de l'ajout de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et sa concentration diminue par un facteur de 4 suite à la décantation et par un facteur de 8 suite au rinçage.

L'aluminium se solubilise très peu (sa solubilisation demeure en bas de 5%), lors de l'application du traitement biologique au  $\text{FeCl}_3$  (voir annexe 31a). La solubilisation du Ca ne dépasse pas 50% lors de l'application du traitement biologique au  $\text{FeCl}_3$  (traitement #6), alors que le Mg demeure en bas de 10% de solubilisation (voir annexe 31a).

### 2.2.2 La solubilisation de la matière organique

D'après l'annexe 31e, le pourcentage de matière organique des sédiments augmente légèrement suite à l'application du traitement biologique au  $\text{FeCl}_3$  (traitement #6). Avant traitement, on trouve 15.3% de matière organique (%SV), alors qu'après traitement ce pourcentage grimpe à 20.8% (%SV). Il ne semble donc pas que le procédé entraîne une solubilisation de la matière organique.

### **2.3 Effet de la décantation et du rinçage sur la solubilisation du Pb et des autres métaux.**

L'intérêt de la décantation réside dans le fait qu'en enlevant le surnageant contaminé en métaux et en le remplaçant par un volume d'eau, on entraîne la diminution des ions solubles (dont les ions sulfates), et on permet l'établissement d'un nouvel équilibre chimique. Ce nouvel équilibre est jugé susceptible de favoriser la solubilisation des métaux contenus dans les sédiments décantés. Les sédiments, d'après une première estimation et contrairement au boues, semblent décantér plus rapidement et facilement. Selon le type de sédiment, l'efficacité de la décantation varie considérablement (d'un facteur de 3 à 10): c'est le sédiment #11 qui décante le mieux et le sédiment #6 le moins bien.

Au chapitre 3 du premier rapport, avec le sédiment #12, il avait été trouvé que la décantation haussait la solubilisation du Pb d'au plus 5% (voir section 3.1.1.1i du premier rapport). Par ailleurs, la décantation lorsqu'elle est alliée traitement chimique (traitement #1) ne semble pas augmenter la solubilisation du Pb et des autres métaux (voir annexe 26a). En effet, les pourcentages de solubilisation restent semblables avant (t=23 heures) et suite à la décantation (t=26 heures). Et, dans le cas de l'application du traitement #1, même 24 heures après la décantation, la hausse des rendements de solubilisation demeure inférieure à 5%. Pour ce qui est des autres traitements où une autre décantation a été faite (traitements #2, #4, #5, #6, #7), il est difficile de dissocier l'effet de la décantation de celui des autres traitements chimiques

appliqués suite à la décantation; i.e. traitement au sel, acidification et traitement au  $\text{FeCl}_3$ .

Lors de l'application des traitements #2, #4, #5 et #6, des rinçages en fin de procédé ont été effectués afin de hausser la solubilisation des métaux. Les résultats sont indiqués aux annexes 27b, 29b, 30b, 31b et aux tableaux 2.12, 2.13, 2.22, 2.23, 2.27 et 2.28. Lors de l'application du traitement #2 sur le sédiment #11, le rinçage n'a pas augmenté l'enlèvement des métaux (voir annexe 27b). Il en va de même pour le traitement #4, où deux rinçages consécutifs n'ont également pas amélioré l'enlèvement des métaux pour les sédiments #6 et #11 (voir annexe 29b). Dans le cas du sédiment #3, il est difficile de tirer une conclusion étant donné que l'on dispose que d'un échantillon de sédiment rincé. Les conclusions sont les mêmes pour les rinçages effectués lors de l'application des traitements #5 et #6; i.e. pas de hausse dans l'enlèvement des métaux suite au rinçage (voir annexes 30b et 31b).

En conclusion, tout semble indiquer que le rinçage des sédiments en fin de procédé n'améliore pas l'enlèvement des métaux. Il est possible que le temps de réaction (inférieur à 1 heure), soit trop court pour qu'un effet soit observable. Étant donné les coûts supplémentaires entraînés par cette étape du traitement (i.e. séparation solide-liquide supplémentaire, recyclage de l'eau de rinçage), à la lumière de ces résultats, il n'est pas recommandé d'effectuer des rinçages en fin de procédé.

Pour ce qui est de l'effet de la décantation, trop peu de résultats sont disponibles pour pouvoir conclure de façon certaine.

Il est probable que l'effet de la décantation lui-même soit semblable à celui du rinçage. Toutefois, étant donné que dans cette étude, la décantation est suivie, la plupart du temps, d'un traitement chimique, il serait intéressant d'étudier de plus près l'effet d'une décantation combinée à un traitement chimique en regard du traitement chimique sans décantation préalable.





## **CHAPITRE 3**

### **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**



## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce second rapport fait suite aux travaux de recherche visant à adapter le procédé de solubilisation biologique des métaux dans les boues, aux sédiments (voir Développement d'un procédé pour l'enlèvement des métaux dans les sédiments: revue de la documentation et étude des facteurs affectant la solubilisation des métaux). Dans le cadre de ce rapport, les sept différents procédés expérimentés ont permis d'évaluer le procédé potentiellement le plus applicable.

Il s'agissait rappellons-le, de déterminer le procédé de solubilisation des métaux applicable en regard des coûts d'utilisation et des rendements d'enlèvement des métaux. Un traitement biologique (3% ST) avec ajout de 20% d'inoculum (v/v) et 20% (p/p) de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , suivi d'un traitement chimique (fait après 48 heures de traitement biologique), où 0.08 mL  $\text{FeCl}_3/\text{g}$  sédiment sec sont ajoutés aux sédiments décantés (voir traitement #6, tableau 2.1), a donné de bons résultats d'enlèvement des métaux avec le sédiment #11. Comme il n'y a pas d'acidification des sédiments au départ, les manipulations pratiques sont simplifiées.

Etant donné que le rinçage des sédiments suite à l'application du traitement n'a pas amélioré l'enlèvement des métaux, le prix alloué pour la décantation est diminué de 5 \$/t sédiment sec, ce qui fixe le prix d'application du traitement #6 à 28 \$/t sédiment sec au lieu de 33 \$/t sédiment sec. C'est donc un traitement

qui se révèle comparativement peu coûteux. Dans le cas où les sédiments seraient très peu contaminés par le Pb, il est possible de n'appliquer que la première partie du traitement, i.e. une solubilisation biologique effectuée sur une période de 48 heures. Le prix en produits chimiques du traitement diminue alors à 11 \$/t sédiment sec.

Pour les sédiments contaminés par le Pb, d'autres essais effectués avec différentes variantes dans la partie chimique du traitement (différentes concentrations de  $\text{FeCl}_3$ , ajout de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) devront être étudiés afin d'optimiser l'enlèvement du Pb. De même l'applicabilité de ce procédé à des sédiments aux caractéristiques différentes (des sédiments très anoxiques par exemple), devra être vérifiée afin de s'assurer que l'acidification préalable n'est toujours pas requise.

La souche de thiobacilles utilisée avec les sédiments #6 et #8 n'a pas semblé capable d'assurer l'enlèvement du Hg. D'autres recherches devront être entreprises, afin de cerner les variables qui interviennent dans l'enlèvement du Hg. De même, la possibilité d'utiliser des souches de thiobacilles acclimatées au Hg devra être envisagée.

L'utilisation de la détermination de l'ion libre, pour évaluer la biodisponibilité des métaux, permet de constater qu'une augmentation de la quantité de Fe dans les sédiments suite au traitement cause une diminution de l'ion libre. Sans cette augmentation, comme lors de l'application du traitement chimique avec HCl et  $\text{FeCl}_3$  (traitement #1, voir tableau 2.1), il n'y a pas

d'enlèvement de  $M^{2+}$  après le traitement.

Enfin des études dans des réacteurs à alimentation en continu devront être menées afin de compléter cette étude.

Globalement la présente étude a permis de décontaminer de façon intéressante des sédiments contaminés avec du Pb, du Cu, du Zn, et du Cd, à des coûts très faibles en produits chimiques. Un effort supplémentaire de recherche devrait permettre dans un proche avenir de s'orienter à moyen terme vers une démonstration du procédé à l'échelle pilote. La figure 3.1, illustre une application possible du procédé à l'échelle réelle.

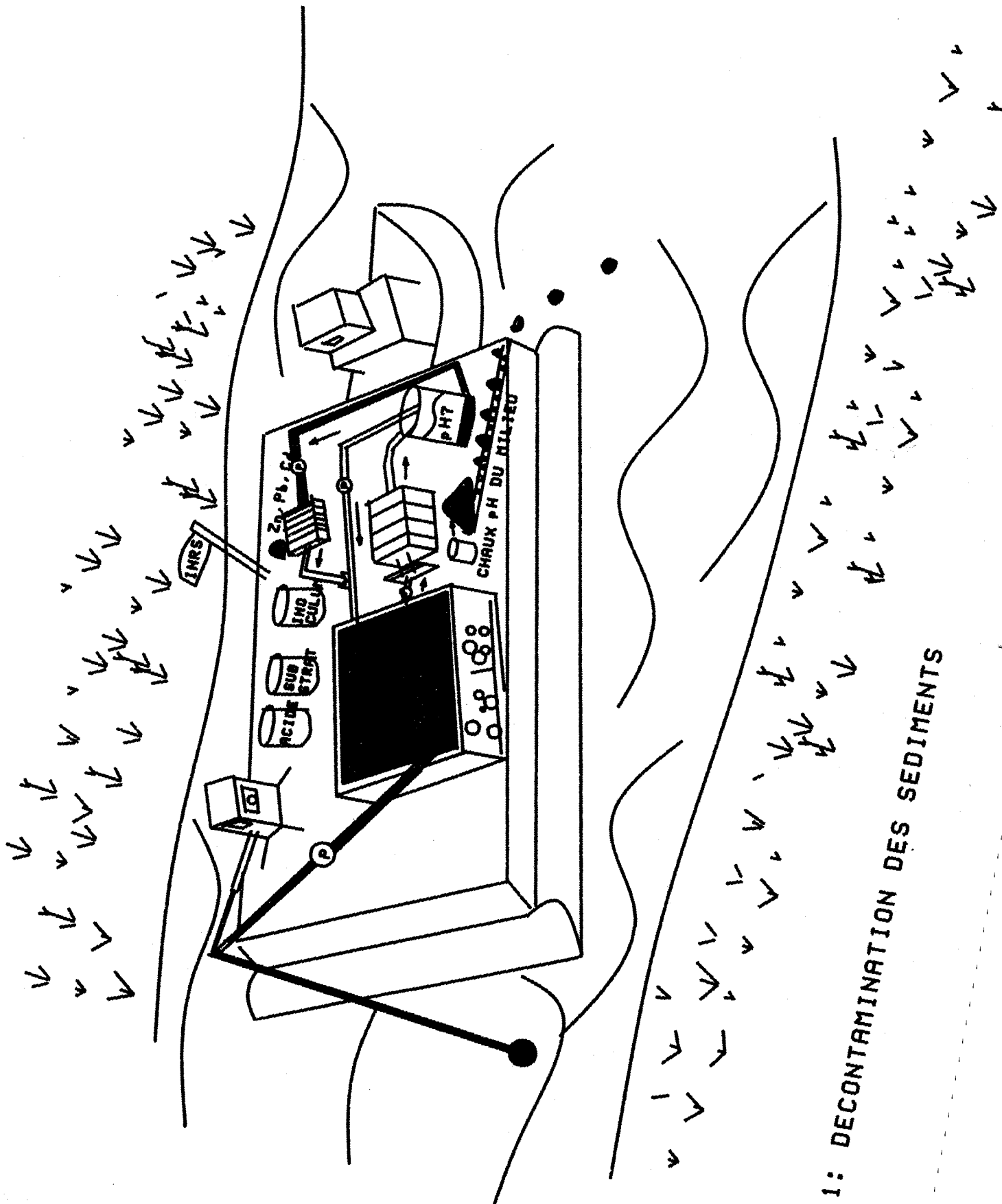


FIGURE 3.1: DECONTAMINATION DES SEDIMENTS

## **RÉFÉRENCES**





## RÉFÉRENCES

APHA (1985). Standards methods for the examination of water and wastewater, 16th edition. American Public Health Association, Washington, D.C..

Belzile, N., DeVitre, R.R. and Tessier, A. (1989). In situ collection of diagenetic iron and manganese oxyhydroxides from natural sediments. *Nature*, 340: 376-377.

BPR (1991). Solubilisation biologique des métaux. Centre Québécois de la valorisation de la biomasse-Etude de pré-faisabilité technico-économique. Consultants BPR, Québec, Canada

Campbell, P.G.C., Lewis, A.G., Chapman, P.M., Crowder, A.A., Fletcher, N.K., Imber, B., Luoma, S.N., Stokes, P.M. and Winfrey, M. (1988). Biological available metals in sediments. In National Research Council of Canada, NRCC27694, 298p..

Chartier, M. (1992). Développement d'un procédé pour l'enlèvement des métaux dans les sédiments. Mémoire de maîtrise, INRS-Eau, Université du Québec, St-Foy, Québec, 272 pages.

Couillard, D. et Chartier M. (1992). Influence des

caractéristiques des boues digérées en aérobie sur la solubilisation biologique des métaux. Soumis dans Can. J. Civ. Engrs.

Couillard, D., Chartier, M. et Mercier, G. (1991). Paramètres importants pour la solubilisation des métaux dans des boues digérées en aérobie. *Envir. Technol. Lett.* 12:1095-1105.

Environnement Canada (1978). Plan d'utilisation des matériaux dragués dans le fleuve St-Laurent, Annexe no 6. Rapport soumis au comité d'étude sur le fleuve St-Laurent par la direction générale des eaux intérieures, 173 p..

Legiec, I.A., Hayes, C.A. and Kossom, D.S. (1989a). Continuous recovery of heavy metals from MSW incinerator ashes. *Envir. Prog.*, 8: 212-216.

Legiec, I.A., Hayes, C.A. and Kossom, D.S. (1989b). Treatment and recovery of heavy metals from incinerator ashes. In: Proceeding 3rd conference on New Frontiers for hazardous waste management. EPA 600-9-89072: 253-261.

Legret M., Divet L. and Marchandise P. (1987). Mobilité et extraction des métaux lourds associés aux boues des stations d'épuration. *Wat. Res.* 21, 541-547.

- Tessier, A. (1992). Sorption of trace elements of natural particles in oxic environments. In: Sampling and characterization of environmental particles. Eds J. Buffle and H.P. Van Leeuwen (in press), pp2-28.
- Tessier, A., Couillard, Y., Campbell, P.G.C. and Auclair, J.C. (1992). Modeling Cd partitioning in oxic lake sediments and Cd burdens in the freshwater bivalve Anodonta grandis (Mollusca, Pelecypoda). Accepté dans Limnol. Oceanogr.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., Auclair, J.C. and Bisson, M. (1984). Relationships between the partitioning of trace metals in sediments and their accumulation in the tissues of the freshwater mollusc Elliptio complanata in a mining area. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 41: 1463-1472.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C. et Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chim., 51(7): 844-851.

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**Institut national de la recherche scientifique**

**COUILLARD, Denis  
CHARTIER, Myriam  
MERCIER, Guy**

**Rapport scientifique No. 366**

**Présenté au  
Centre Saint-Laurent**

**Optimisation d'un procédé pour la  
solubilisation des métaux dans les  
sédiments**

**--- TOME II ---**

**Université du Québec (INRS-Eau)  
2700, rue Einstein  
C.P. 7500  
Sainte-Foy, Québec  
G1V 4C7**

**Janvier 1993**



## **ANNEXES**



## LEGENDE

Dans tous les annexes de l'analyse des métaux, 15 métaux ont été suivis pour chacun des essais. Les essais ainsi que le temps de prélèvement des différents échantillons pour l'analyse des métaux sont indiqués dans la colonne gauche. Les essais sont écrits en gros caractères, les temps sont écrits en heure et totaux signifie la quantité initiale (au temps 0) de métaux retrouvée dans les sédiments. Les lettres a et b placées devant les temps de prélèvement, réfèrent à des essais faits en duplicata (conditions expérimentales identiques).

Par exemple:           Al 3092  
                           Moyenne            %Sol  
                           (mg/L)                (%)

Al indique l'élément aluminium et 3092 la longueur d'onde employée sur l'ICP lors de l'analyse des métaux. Moyenne provient de la moyenne des trois lectures faits sur l'ICP en mg/L, alors que %Sol, signifie le pourcentage de solubilisation de cet élément i.e la quantité retrouvée en solution après chaque échantillonnage divisée par la quantité présente initialement dans le sédiment (totaux à la première ligne). Les indices et exposants ne sont pas indiqués sous un format différent en raison du logiciel employé.

Dans chaque annexe, les abbréviations suivantes peuvent être retrouvées:

séd. #12 = sédiment #12 où le #12 indique la localisation du sédiment (voir annexe 1a)

Inoc. = inoculum

Inc. = incubateur ou appareil pour brasser les sédiments lors des



essais.

ST = solides totaux

acid. à pH 1.75 = acidification des sédiments dans chaque cuvée à  
pH 1.75 (fait avec HCl)

déc + acid. à 46h = décantation suivie d'une acidification des  
sédiments après 46 heures d'expérimentation

acid. à 46h = acidification des sédiments après 46 heures  
d'expérimentation.

Annexe 26a: Solubilisation chimique des métaux avec acidification au HCl et FeCl3 dans les sédiments  
#2,#3,#6,#8,#11 (0.082mL FeCl3/g séd sec a pH=2).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		As1890		Ca3158		Cd2288	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#2</b>										
<b>essai 1</b>										
Totaux a			751.50		0.00		397.10		0.04	
a1h	1.93	505	16.12	2.25	0.00	0.00	214.90	56.82	0.02	50.76
a6h	2.02	484	25.66	3.59	0.00	0.00	248.00	65.58	0.02	53.95
a10h	2.1	473	24.66	3.45	0.00	0.00	269.80	71.34	0.02	62.07
a22h	2.02	449	29.97	4.19	0.00	0.00	303.70	80.30	0.02	55.69
a27h*	2.02	458	5.61	4.37	0.00	0.00	49.98	81.96	0.00	57.83
a30h*	1.95	446	9.46	4.91	0.00	0.00	72.59	87.94	0.01	63.34
a48h*	2.11	407	20.31	6.42	0.00	0.00	109.40	97.68	0.01	67.40
Totaux b			670.00		0.00		369.20		0.04	
b1h	1.62	511	20.49	3.21	0.00	0.00	218.00	62.00	0.02	52.80
b10h	1.8	496	29.33	4.60	0.00	0.00	234.70	66.75	0.02	53.69
b22h	1.86	492	34.17	5.36	0.00	0.00	244.00	69.39	0.02	55.48
b27h*	1.86	481	4.06	5.36	0.00	0.00	29.27	69.55	0.00	63.57
b30h*	2.03	475	5.62	5.61	0.00	0.00	36.33	71.56	0.00	59.10
b48h*	2.09	451	9.81	6.26	0.00	0.00	50.30	75.53	0.00	62.38
<b>Séd.#3</b>										
<b>essai 1</b>										
Totaux a			955.90		0.00		206.40		0.16	
a0h			5.69	0.62	0.00	0.00	59.91	30.48	0.02	14.53
a1h	1.73	507	27.94	3.07	0.00	0.00	93.71	47.67	0.09	58.26
a6h	1.91	500	36.25	3.98	0.00	0.00	98.77	50.25	0.11	69.53
a10h	1.97	500	41.66	4.58	0.00	0.00	101.40	51.58	0.12	77.47
a22h	1.92	498	47.89	5.26	0.00	0.00	103.60	52.70	0.13	80.93
a27h*	2.02	475	4.26	5.27	0.00	0.00	10.32	53.40	0.01	81.69
a30h*	2.07	492	6.72	5.54	0.00	0.00	17.77	57.19	0.01	80.21
a48h*	2.12	463	15.20	6.48	0.00	0.00	33.71	65.30	0.01	79.89
Totaux b			1020.00		0.00		212.30		0.12	
b0h			6.74	0.69	0.00	0.00	62.57	30.95	0.04	38.05
b1h	1.67	508	30.00	3.09	0.00	0.00	102.20	50.55	0.10	90.78
b6h	1.88	504	39.79	4.10	0.00	0.00	109.80	54.31	0.12	108.35
b10h	1.86	503	45.24	4.66	0.00	0.00	114.20	56.48	0.12	111.25
b22h	1.86	501	49.69	5.12	0.00	0.00	112.20	55.49	0.13	115.51
b27h*	2.04	506	4.84	5.15	0.00	0.00	12.01	56.39	0.01	112.26
b30h*	2	500	8.65	5.54	0.00	0.00	33.69	67.11	0.01	114.70
b48h*	2.09	471	16.53	6.35	0.00	0.00	68.82	84.48	0.01	115.43
<b>Séd.#6</b>										
Totaux a			1991.00		0.00		379.30		1.65	
a0h			3.70	0.20	-0.29	0.00	145.20	40.19	0.00	0.17
a1h	2.53	234	237.84	12.54	-0.45	0.00	229.40	63.50	0.01	0.36
a6h	1.95	239	246.49	13.00	-0.32	0.00	246.24	68.17	0.01	0.60
a10h	1.95	250	371.04	19.57	-0.28	0.00	250.66	69.39	0.01	0.57
a22h	1.9	266	504.25	26.59	-0.13	0.00	253.15	70.08	0.04	2.42
a27h*	1.91	223	298.31	31.94	-0.06	0.00	105.63	71.94	0.02	2.88
a30h*	1.86	245	321.76	33.17	-0.02	0.00	102.18	70.99	0.03	3.36
a48h*	2.47	310	427.23	38.74	0.36	0.00	103.10	71.24	0.10	7.53
Totaux b			2003.00		0.00		343.30		1.38	
b0h			9.73	0.51	-0.28	0.00	112.09	34.28	0.00	0.31
b1h	2.45	229	216.40	11.34	-0.42	0.00	230.66	70.55	0.00	0.21
b6h	2	175	200.94	10.53	-0.41	0.00	229.52	70.20	0.00	0.20
b10h	1.93	238	337.05	17.67	-0.32	0.00	240.54	73.57	0.01	0.56
b22h	1.97	252	459.67	24.10	-0.08	0.00	236.96	72.48	0.02	1.46
b27h*	2	183	196.74	26.10	-0.06	0.00	79.22	71.71	0.02	2.10
b30h*	1.97	219	272.36	30.07	0.00	0.00	83.35	72.98	0.01	1.99
b48h*	2.65	289	329.48	33.06	0.27	0.00	78.76	71.57	0.04	3.98

Annexe 26a:

Echantillon	Cr2677		Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#2</b>										
<b>essai 1</b>										
Totaux a	2.11		1.72		924.60		164.90		8.47	
a1h	0.24	11.98	0.43	26.24	395.00	44.86	31.82	20.26	3.34	41.41
a6h	0.25	12.58	0.51	31.23	389.80	44.27	38.01	24.20	3.53	43.71
a10h	0.27	13.26	0.70	42.97	399.80	45.40	40.57	25.83	3.76	46.58
a22h	0.26	13.20	0.82	49.97	407.00	46.22	42.82	27.27	3.98	49.30
a27h*	0.05	13.73	0.19	54.28	74.64	48.05	6.88	27.72	0.64	50.16
a30h*	0.07	14.66	0.25	57.87	87.53	49.51	7.90	28.38	0.74	51.32
a48h*	0.09	15.56	0.34	63.40	120.50	53.25	12.37	31.22	1.05	55.22
Totaux b	2.53		1.57		895.90		151.40		7.91	
b1h	0.26	10.89	0.48	31.94	424.20	49.72	30.83	21.38	3.34	44.36
b10h	0.30	12.54	0.69	46.34	404.10	47.36	35.38	24.54	3.48	46.19
b22h	0.30	12.34	0.81	54.38	408.30	47.85	36.62	25.40	3.62	47.97
b27h*	0.02	11.85	0.11	55.08	50.54	48.15	4.65	25.64	0.43	47.99
b30h*	0.03	12.01	0.17	59.63	59.85	49.24	5.54	26.25	0.49	48.77
b48h*	0.06	13.31	0.17	59.30	74.10	50.91	7.97	27.94	0.61	50.46
<b>Séd.#3</b>										
<b>essai 1</b>										
Totaux a	2.87		10.39		1349.00		313.17		24.57	
a0h	0.19	6.95	2.39	24.13	356.90	27.78	4.48	1.50	9.64	41.19
a1h	0.21	7.59	5.47	55.23	399.40	31.09	12.30	4.12	13.00	55.56
a6h	0.22	8.03	6.55	66.22	398.10	30.99	14.70	4.93	13.16	56.24
a10h	0.27	9.95	7.46	75.39	418.70	32.59	15.50	5.20	14.11	60.30
a22h	0.25	9.24	7.88	79.60	424.30	33.03	16.52	5.54	14.61	62.44
a27h*	0.00	8.44	0.76	80.39	42.29	33.47	1.40	5.53	1.10	61.74
a30h*	0.00	8.44	0.80	80.78	46.45	33.79	2.06	5.75	1.15	61.95
a48h*	0.00	8.44	1.01	82.95	57.60	34.66	5.60	6.94	1.46	63.28
Totaux b	2.28		10.87		1395.00		327.00		25.90	
b0h	0.19	8.86	2.83	27.34	354.80	26.71	4.35	1.40	10.18	41.27
b1h	0.24	10.88	5.94	57.39	431.00	32.44	13.15	4.22	14.19	57.53
b6h	0.24	11.15	7.18	69.37	436.90	32.88	15.23	4.89	14.43	58.50
b10h	0.41	19.06	7.73	74.71	447.70	33.70	16.64	5.34	15.10	61.22
b22h	0.25	11.51	7.98	77.10	439.90	33.11	17.46	5.61	14.77	59.88
b27h*	0.01	10.89	0.78	77.67	46.13	33.57	1.58	5.60	1.21	59.34
b30h*	0.00	10.57	0.96	79.41	57.61	34.44	2.61	5.93	1.47	60.38
b48h*	0.02	11.43	1.07	80.42	63.47	34.88	6.72	7.25	1.67	61.19
<b>Séd.#6</b>										
Totaux a	6.09		18.00		6469.00		245.40		11.52	
a0h	0.03	0.56	0.08	0.46	478.73	7.77	13.64	5.83	3.31	30.15
a1h	0.66	11.41	0.05	0.27	753.72	12.23	37.04	15.85	4.04	36.82
a6h	0.48	8.31	-0.02	-0.10	812.82	13.19	40.02	17.12	4.16	37.95
a10h	0.79	13.62	0.14	0.82	869.62	14.12	41.37	17.70	4.34	39.56
a22h	0.98	16.84	0.11	0.62	920.30	14.94	42.59	18.22	4.59	41.85
a27h*	0.65	21.56	0.06	0.71	391.24	15.45	17.08	18.41	1.86	42.43
a30h*	0.71	22.47	-0.01	0.32	386.85	15.38	16.81	18.30	1.83	42.14
a48h*	0.91	25.91	-0.00	0.37	443.28	16.30	18.02	18.81	2.00	43.69
Totaux b	5.44		15.72		5725.00		212.00		10.14	
b0h	0.05	0.96	-0.03	-0.17	511.22	9.38	10.39	5.14	2.90	30.05
b1h	0.65	12.60	-0.04	-0.26	764.71	14.03	37.31	18.48	3.98	41.22
b6h	0.44	8.53	0.09	0.59	723.29	13.27	38.22	18.93	4.01	41.50
b10h	0.74	14.32	-0.04	-0.30	863.39	15.84	39.92	19.77	4.29	44.47
b22h	0.91	17.50	-0.04	-0.26	848.91	15.57	38.77	19.20	4.19	43.39
b27h*	0.44	20.02	0.01	-0.09	293.48	15.58	12.56	18.80	1.40	42.90
b30h*	0.58	22.63	-0.01	-0.27	328.08	16.22	14.13	19.58	1.53	44.30
b48h*	0.69	24.84	-0.01	-0.24	336.56	16.37	13.28	19.16	1.51	44.01

Annexe 26a:

Echantillon	Ni2316		P_1774		Pb2203		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#2</b>											
<b>essai 1</b>											
Totaux a	0.79		20.13		1.71		60.58		12.34		0.00
a1h	0.10	12.72	1.04	5.41	0.79	48.50	3.64	6.30	3.54	30.14	54.73
a6h	0.13	16.81	0.15	0.76	0.84	51.87	3.98	6.91	4.91	41.77	4.06
a10h	0.19	24.98	0.07	0.34	1.13	69.30	4.42	7.66	5.03	42.79	2.09
a22h	0.20	26.86	0.00	0.00	1.11	68.14	5.24	9.07	5.68	48.31	0.00
a27h*	0.08	33.80	0.75	3.93	0.31	77.68	2.11	11.42	0.95	49.48	3.33
a30h*	0.05	30.00	1.31	6.82	0.37	80.92	2.60	12.27	1.07	50.43	0.00
a48h*	0.09	34.62	3.29	17.15	0.48	88.08	4.58	15.71	1.51	54.21	1.97
Totaux b	0.80		22.03		1.72		59.61		11.34		0.00
b1h	0.11	14.75	4.62	22.00	0.90	55.28	3.62	6.37	3.62	33.54	40.91
b10h	0.18	24.06	4.12	19.62	1.24	75.91	4.25	7.49	4.30	39.80	5.31
b22h	0.18	24.15	4.01	19.10	1.37	83.43	4.90	8.62	4.72	43.72	4.55
b27h*	0.03	24.92	0.98	21.51	0.24	88.13	1.68	10.56	0.55	43.66	1.17
b30h*	0.04	26.98	1.82	25.51	0.31	92.39	2.04	11.19	0.66	44.68	1.18
b48h*	0.06	28.66	4.02	35.99	0.28	90.49	3.29	13.40	0.78	45.79	0.02
<b>Séd.#3</b>											
<b>essai 1</b>											
Totaux a	3.79		20.01		1.82		34.03		31.17		0.00
a0h	0.20	5.49	0.00	0.00	0.36	20.94	0.82	2.53	6.84	23.05	10.76
a1h	0.49	13.45	0.00	0.00	0.97	56.00	1.44	4.43	15.64	52.69	15.88
a6h	0.58	16.01	0.34	1.80	1.01	58.07	1.53	4.73	17.68	59.56	6.94
a10h	0.69	19.19	0.35	1.82	1.18	67.90	1.65	5.09	19.55	65.86	7.51
a22h	0.75	20.81	0.00	0.00	1.24	71.40	1.57	4.85	20.60	69.39	4.33
a27h*	0.05	20.47	0.03	0.13	0.16	74.46	1.17	8.04	1.63	68.90	3.59
a30h*	0.07	20.83	0.25	1.34	0.26	80.49	0.84	7.03	1.84	69.60	1.04
a48h*	0.19	24.36	0.45	2.36	0.29	81.98	1.46	8.95	2.64	72.28	2.03
Totaux b	4.11		20.37		1.95		34.96		32.00		0.00
b0h	0.23	5.99	0.00	0.00	0.43	23.03	0.80	2.39	8.15	26.74	5.10
b1h	0.53	13.44	0.27	1.37	1.03	55.68	1.44	4.34	16.59	54.44	13.59
b6h	0.64	16.37	0.00	0.00	1.29	69.77	1.48	4.43	18.95	62.18	10.06
b10h	0.78	19.84	0.46	2.36	1.30	70.20	1.79	5.37	20.56	67.46	7.36
b22h	0.77	19.66	0.42	2.14	1.32	71.17	1.57	4.73	20.46	67.13	5.70
b27h*	0.06	19.44	0.12	2.54	0.28	79.91	1.00	7.31	1.79	66.90	3.13
b30h*	0.09	20.28	0.55	4.77	0.30	81.12	1.14	7.72	2.25	68.41	1.46
b48h*	0.21	23.21	0.49	4.47	0.35	83.42	1.39	8.47	2.84	70.36	1.98
<b>Séd #6</b>											
Totaux a	2.02		62.22		16.23		547.70		323.80		0.00
a0h	0.14	7.54	-1.63	-2.74	0.11	0.72	8.31	1.59	18.02	5.84	-2.56
a1h	0.26	13.38	-1.73	-2.92	0.24	1.57	6.18	1.19	37.69	12.22	18.79
a6h	0.31	16.08	-2.65	-4.47	0.26	1.66	8.28	1.59	43.79	14.20	11.09
a10h	0.38	19.80	-1.88	-3.18	0.38	2.43	12.18	2.33	67.56	21.91	24.23
a22h	0.39	20.30	-0.60	-1.01	0.88	5.72	17.58	3.37	108.13	35.06	41.62
a27h*	0.25	25.25	7.74	12.46	0.89	9.26	11.00	4.16	61.82	41.41	51.47
a30h*	0.22	23.64	6.78	10.82	0.92	9.46	15.36	5.00	69.90	44.04	68.66
a48h*	0.26	25.72	9.65	15.68	1.99	16.34	18.83	5.66	106.86	56.02	86.96
Totaux b	1.65		54.79		14.16		477.40		281.20		0.00
b0h	0.13	8.13	-1.61	-3.08	0.09	0.66	7.27	1.60	15.94	5.95	-3.18
b1h	0.21	13.12	-1.53	-2.92	0.15	1.12	8.79	1.93	26.84	10.02	12.20
b6h	0.23	14.81	-2.43	-4.65	0.25	1.87	10.86	2.39	23.57	8.80	3.65
b10h	0.30	19.45	-1.64	-3.15	0.21	1.54	16.24	3.57	47.68	17.81	16.18
b22h	0.36	23.02	0.06	0.11	0.57	4.20	22.95	5.05	85.54	31.94	69.25
b27h*	0.17	25.83	4.87	9.40	0.65	7.54	9.04	5.30	39.17	35.55	22.37
b30h*	0.15	24.90	7.77	14.96	0.63	7.44	14.80	6.56	56.75	42.12	40.95
b48h*	0.20	27.65	8.32	16.02	1.18	11.51	18.53	7.38	82.66	51.79	58.79

Annexe 26a: Solubilisation chimique des métaux avec acidification au HCl et FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 (0.082mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec a pH=2).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		As1890		Ca3158		Cd2288	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd. #8</b>										
Totaux a			1450.00		0.00		1427.00		0.01	
a1h	2	452	32.20	2.33	0.00	0.00	717.30	52.78	0.01	89.78
a6h	1.84	494	4.19	0.30	0.00	0.00	807.50	59.42	0.01	105.76
a10h	1.95	367	38.39	2.78	0.00	0.00	927.50	68.25	0.02	189.46
a22h	1.92	354	47.61	3.45	0.00	0.00	1092.00	80.35	0.03	220.65
a27h*	2	434	18.16	3.88	0.00	0.00	291.30	81.29	0.01	245.02
a30h*	2.03	418	24.05	4.31	0.01	0.00	349.00	85.53	0.01	252.62
a48h*	2.3	393	31.18	4.83	0.00	0.00	398.70	89.19	0.01	242.73
Totaux b			1873.00		0.00		1181.00		0.03	
b1h	1.75	452	31.80	1.78	-0.15	0.00	754.29	67.06	0.03	81.05
b6h	1.88	387	29.45	1.65	-0.16	0.00	823.60	73.22	0.03	85.41
b10h	1.9	417	42.34	2.37	-0.24	0.00	861.23	76.57	0.03	85.22
b22h	2.25	424	53.25	2.99	-0.22	0.00	900.81	80.09	0.04	117.62
b27h*	2.02	457	15.58	3.10	-0.10	0.00	223.58	79.59	0.01	105.90
b30h*	2.03	450	22.85	3.51	-0.06	0.00	332.02	89.23	0.01	113.19
b48h*	2.46	406	25.84	3.67	-0.09	0.00	451.14	99.82	0.01	125.48
<b>Séd. #11</b>										
<b>essai 1</b>										
Totaux a			1221.00		0.00		316.70		0.06	
a6h	2.1	487	46.77	4.02	-0.21	0.00	133.28	44.19	0.05	87.09
a10h	2.05	477	53.74	4.62	-0.23	0.00	140.21	46.48	0.06	105.67
a22h	2.02	473	62.21	5.35	-0.19	0.00	143.19	47.47	0.07	120.32
a27h*	2.02	479	12.34	5.41	-0.05	0.00	27.44	47.70	0.01	120.30
a30h*	2.05	470	16.49	5.77	-0.06	0.00	34.25	49.96	0.01	122.23
a48h*	2.11	449	25.57	6.55	-0.12	0.00	39.75	51.78	0.02	128.38
Totaux b			1170.00		0.00		301.60		0.05	
b6h	2.09	487	47.42	4.26	-0.23	0.00	134.29	46.75	0.05	100.00
b10h	2.03	479	51.80	4.65	-0.21	0.00	130.28	45.36	0.06	122.93
b22h	2.03	474	59.67	5.36	-0.24	0.00	132.85	46.25	0.05	99.82
b27h*	2	482	11.44	5.48	-0.01	0.00	24.56	47.02	0.01	100.20
b30h*	2.02	472	17.25	6.00	-0.02	0.00	34.56	50.49	0.01	98.59
b48h*	2.16	449	24.51	6.65	-0.05	0.00	36.57	51.19	0.01	103.85

Annexe 26a:

Echantillon	Cr2677		Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd. #8</b>										
Totaux a	3.02		1.45		1347.00		542.60		29.21	
a1h	0.17	5.93	0.51	36.63	301.60	23.51	121.50	23.51	12.30	44.21
a6h	0.00	0.00	0.00	0.00	278.40	21.70	146.10	28.27	14.04	50.47
a10h	0.13	4.59	0.63	45.71	315.60	24.60	164.10	31.76	15.03	54.03
a22h	0.14	4.94	0.79	57.37	340.30	26.53	169.00	32.70	15.98	57.44
a27h*	0.00	3.83	0.32	65.57	0.99	19.84	44.02	32.88	4.21	57.92
a30h*	0.03	4.75	0.33	66.25	100.10	27.56	43.34	32.75	4.27	58.14
a48h*	0.06	5.86	0.38	69.84	111.70	28.47	47.71	33.59	4.53	59.08
Totaux b	3.66		1.99		1662.00		624.60		31.80	
b1h	0.32	9.06	0.50	26.49	244.10	15.42	137.45	23.11	13.05	43.09
b6h	0.16	4.54	0.46	24.19	248.79	15.72	162.34	27.29	14.34	47.35
b10h	0.19	5.46	0.76	40.14	274.49	17.34	168.89	28.39	15.01	49.55
b22h	0.22	6.19	0.97	51.00	293.16	18.52	170.15	28.60	15.31	50.56
b27h*	0.05	6.17	0.31	54.26	82.77	19.04	40.53	28.14	3.76	50.10
b30h*	0.08	6.93	0.38	58.05	97.11	19.94	47.40	29.29	4.37	52.13
b48h*	0.09	7.25	0.40	59.34	102.15	20.26	48.54	29.49	4.48	52.50
<b>Séd. #11</b>										
<b>essai 1</b>										
Totaux a	4.64		3.13		1360.00		333.00		13.20	
a6h	0.41	9.25	1.25	42.16	378.06	29.19	34.71	10.95	5.23	41.58
a10h	0.51	11.46	1.50	50.38	387.06	29.88	37.53	11.83	5.42	43.15
a22h	0.48	10.94	1.73	57.98	397.97	30.73	38.91	12.27	5.50	43.71
a27h*	0.09	11.00	0.38	59.84	78.70	31.06	5.08	11.58	0.96	43.21
a30h*	0.11	11.43	0.41	60.91	85.55	31.59	5.54	11.72	1.06	44.00
a48h*	0.14	11.96	0.54	65.32	103.56	32.98	8.39	12.62	1.31	45.96
Totaux b	3.74		2.46		1309.00		315.70		12.69	
b6h	0.41	11.52	1.22	52.33	392.52	31.49	35.01	11.64	5.33	44.09
b10h	0.41	11.56	1.42	60.80	378.11	30.33	34.82	11.58	5.18	42.90
b22h	0.46	12.96	1.64	69.90	386.31	30.99	35.57	11.83	5.35	44.26
b27h*	0.08	13.06	0.31	71.32	71.61	31.52	5.67	11.72	0.86	43.92
b30h*	0.10	13.49	0.41	75.45	88.87	32.90	6.89	12.13	1.07	45.63
b48h*	0.12	14.23	0.44	77.08	93.94	33.31	8.99	12.83	1.15	46.34

Annexe 26a:

Echantillon	Ni2316		P_1774		Pb2203		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#8</b>											
Totaux a	1.65		28.03		1.08		109.60		6.84		0.00
a1h	0.14	8.64	0.00	0.00	0.47	45.73	6.33	6.07	2.81	43.16	14.41
a6h	0.14	8.68	0.00	0.00	0.09	8.97	7.36	7.05	2.58	39.60	1.07
a10h	0.20	12.71	0.00	0.00	0.45	44.05	7.61	7.29	3.00	46.11	0.00
a22h	0.24	15.44	0.00	0.00	0.50	49.17	8.61	8.25	3.55	54.50	0.00
a27h*	0.07	4.32	1.59	5.95	0.35	71.11	3.68	9.67	1.00	55.92	0.35
a30h*	0.06	3.76	2.08	7.78	0.27	62.78	3.82	9.80	1.08	57.18	0.00
a48h*	0.10	18.12	1.15	4.32	0.20	56.64	4.22	10.18	1.30	60.58	14.82
Totaux b	2.09		36.46		1.23		91.03		8.02		0.00
b1h	0.16	8.15	-0.27	-0.77	0.56	48.30	6.44	7.43	2.59	33.94	-10.54
b6h	0.19	9.48	-0.50	-1.43	0.33	28.00	6.95	8.02	2.96	38.71	-14.73
b10h	0.22	10.85	-0.36	-1.05	0.47	40.41	6.86	7.91	3.46	45.28	-16.63
b22h	0.25	12.75	-0.38	-1.10	0.67	57.70	7.03	8.11	3.87	50.76	-16.32
b27h*	0.05	12.23	0.35	0.18	0.29	67.63	3.11	9.63	1.00	50.90	-18.30
b30h*	0.08	13.42	0.70	1.19	0.32	70.38	3.91	10.56	1.22	53.76	-18.64
b48h*	0.10	14.54	0.07	-0.63	0.34	72.10	4.48	11.22	1.40	56.12	-16.87
<b>Séd.#11</b>											
<b>essai 1</b>											
Totaux a	2.04		30.98		8.18		124.40		60.57		0.00
a6h	0.26	13.58	-0.07	-0.25	4.64	59.53	2.88	2.43	39.14	67.85	-13.24
a10h	0.34	17.32	-0.54	-1.82	4.98	63.96	3.31	2.79	43.08	74.69	-14.46
a22h	0.35	18.29	-0.15	-0.50	5.26	67.53	3.65	3.08	45.12	78.22	-15.51
a27h*	0.07	18.37	0.40	0.96	1.08	68.76	2.09	4.26	7.95	77.37	-17.56
a30h*	0.08	18.96	0.58	1.55	1.22	70.63	2.09	4.27	8.35	78.07	-18.30
a48h*	0.18	24.03	0.43	1.06	1.25	71.01	2.69	4.78	10.23	81.33	-19.53
Totaux b	1.93		29.42		8.02		119.60		59.97		0.00
b6h	0.25	13.64	-0.06	-0.22	4.66	60.94	3.04	2.67	40.71	71.28	-16.84
b10h	0.27	14.62	-0.20	-0.72	4.94	64.67	3.27	2.87	41.50	72.66	-16.74
b22h	0.35	19.30	-0.05	-0.17	5.24	68.52	3.62	3.18	44.07	77.16	-1.83
b27h*	0.06	19.06	0.58	1.91	1.02	70.29	1.51	3.97	7.21	76.79	-4.14
b30h*	0.07	19.85	0.83	2.83	1.37	74.94	1.94	4.34	8.85	79.67	-4.85
b48h*	0.14	23.71	0.76	2.58	1.23	73.14	2.42	4.77	9.25	80.36	-3.84

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		As1890		Ca3158		Cd2288	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#2</b>										
<b>essai 2</b>										
Totaux a			718.30		0.00		375.10		0.03	
a1h	2.07	520	8.19	1.20	-0.22	0.00	223.37	62.53	0.01	44.46
a5h	2.03	492	14.35	2.10	-0.27	0.00	290.34	81.27	0.02	66.13
a11h	2.18	477	18.50	2.70	-0.24	0.00	313.23	87.68	0.02	57.75
a22h	2	462	26.71	3.91	-0.23	0.00	373.17	104.46	0.02	60.81
a26h*	2.03	465	4.20	4.06	-0.03	0.00	56.27	107.85	0.00	71.52
a29h*	1.95	462	6.98	4.46	-0.03	0.00	94.54	118.56	0.01	76.01
a50h*	3.54	314	4.75	4.14	-0.01	0.00	512.13	235.46	0.00	65.51
Totaux b			713.00		0.00		585.60		0.05	
b1h	2	508	11.80	1.74	-0.15	0.00	251.84	45.16	0.02	32.27
b5h	2.03	487	16.40	2.41	-0.18	0.00	315.66	56.60	0.02	36.65
b11h	2.32	465	21.26	3.13	-0.21	0.00	423.06	75.86	0.02	39.79
b22h	1.88	454	26.31	3.87	-0.21	0.00	497.77	89.25	0.02	43.24
b26h*	1.93	463	4.14	3.95	-0.02	0.00	70.47	89.54	0.01	49.95
b29h*	1.97	455	8.12	4.53	-0.02	0.00	98.57	94.58	0.01	48.47
b50h*	2.33	383	22.46	6.65	-0.02	0.00	223.40	116.96	0.00	39.85
<b>Séd.#3</b>										
<b>essai 2</b>										
Totaux a			1146.00		0.00		234.80		0.13	
a1h	1.95	511	22.51	2.06	-0.22	0.00	134.72	60.25	0.11	90.33
a5h	2.05	481	35.15	3.22	-0.21	0.00	145.66	65.14	0.14	110.60
a11h	2.05	496	45.21	4.14	-0.21	0.00	152.86	68.36	0.16	130.62
a22h	1.95	491	50.63	4.64	-0.24	0.00	148.47	66.39	0.16	130.17
a26h*	2.02	495	5.91	4.68	-0.01	0.00	19.31	67.89	0.01	127.04
a29h*	2.02	497	9.59	5.02	0.01	0.00	24.50	70.21	0.02	130.83
a50h*	2.35	440	27.68	6.68	-0.07	0.00	49.56	81.42	0.02	131.63
Totaux b			1032.00		0.00		213.60		0.10	
b1h	1.98	513	21.04	2.14	-0.22	0.00	123.41	60.66	0.07	67.27
b5h	2.05	503	30.03	3.06	-0.24	0.00	127.28	62.57	0.12	120.24
b11h	2.06	499	34.98	3.56	-0.20	0.00	120.55	59.26	0.12	124.78
b22h	1.98	494	42.49	4.32	-0.23	0.00	128.15	63.00	0.14	141.43
b26h*	1.96	496	5.11	4.44	0.04	0.00	15.70	64.81	0.01	141.42
b29h*	2.03	504	7.32	4.66	0.02	0.00	18.43	66.15	0.01	141.02
b50h*	2.19	467	22.81	6.24	-0.03	0.00	57.00	85.11	0.01	142.14
<b>Séd.#11</b>										
<b>essai2</b>										
Totaux a			1132.00		0.00		321.10		0.04	
a1h	2.05	482	28.40	2.63	-0.13	0.00	148.07	48.42	0.04	92.84
a5h	2	458	35.21	3.27	-0.10	0.00	155.74	50.93	0.04	100.49
a11h	2.05	447	53.87	5.00	-0.17	0.00	185.52	60.67	0.05	116.21
a22h	2	439	67.37	6.25	-0.19	0.00	192.38	62.91	0.06	138.31
a26h*	2.04	450	15.04	7.14	-0.03	0.00	44.71	72.50	0.01	157.20
a29h*	2	446	16.45	7.46	0.00	0.00	49.52	74.07	0.02	163.94
a50h*	2.25	402	46.52	10.06	-0.07	0.00	107.28	92.96	0.03	203.16
Totaux b			1345.00		0.00		362.10		0.04	
b1h	2.07	482	28.09	2.19	-0.16	0.00	153.84	44.61	0.04	87.68
b5h	2.02	457	38.21	2.98	-0.15	0.00	172.49	50.02	0.04	107.67
b11h	2.04	442	56.78	4.43	-0.22	0.00	194.58	56.42	0.06	149.33
b22h	2	433	68.68	5.36	-0.22	0.00	202.41	58.69	0.07	166.26
b26h*	2.05	443	14.00	5.45	-0.03	0.00	41.86	59.82	0.01	165.61
b29h*	2	450	18.63	5.81	-0.02	0.00	50.45	62.31	0.02	173.04
b50h*	2.11	413	55.92	8.72	-0.08	0.00	115.67	81.22	0.03	211.41

\* déc. et acid.



Annexe 26a:

Echantillon	Cr2677		Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#2</b>										
<b>essai 2</b>										
Totaux a	2.47		1.67		948.90		165.40		8.21	
a1h	0.18	7.68	0.40	25.14	323.62	35.81	29.42	18.67	2.99	38.18
a5h	0.19	8.19	0.57	35.72	349.86	38.71	39.18	24.87	3.45	44.11
a11h	0.21	8.85	0.65	40.97	337.45	37.34	38.76	24.60	3.41	43.62
a22h	0.28	11.81	0.82	51.52	383.55	42.44	44.63	28.33	3.91	49.98
a26h*	-0.00	10.32	0.14	54.19	55.83	43.60	5.78	28.65	0.58	51.44
a29h*	0.04	11.91	0.19	57.27	57.50	43.78	6.11	28.86	0.56	51.28
a50h*	-0.01	9.95	0.02	46.58	41.82	42.05	9.86	31.24	0.95	56.21
Totaux b	2.53		1.65		923.00		362.20		8.19	
b1h	0.18	7.51	0.47	29.88	343.90	39.12	32.30	9.36	3.15	40.44
b5h	0.20	8.22	0.56	35.50	340.05	38.68	38.64	11.20	3.34	42.87
b11h	0.20	8.48	0.72	45.93	352.12	40.06	42.69	12.38	3.68	47.12
b22h	0.23	9.56	0.86	54.88	375.32	42.70	44.30	12.84	3.83	49.10
b26h*	0.03	9.48	0.15	56.54	56.26	43.19	5.65	12.71	0.51	48.89
b29h*	0.05	10.37	0.21	60.71	71.58	44.93	7.06	13.11	0.65	50.63
b50h*	0.05	10.33	0.29	65.54	101.46	48.33	14.29	15.21	1.16	57.15
<b>Séd.#3</b>										
<b>essai 2</b>										
Totaux a	4.38		11.96		1573.00		383.00		28.35	
a1h	0.22	5.28	5.87	51.50	409.92	27.36	14.18	3.89	15.37	56.92
a5h	0.27	6.50	7.96	69.85	424.57	28.34	18.24	5.00	15.94	59.03
a11h	0.31	7.48	9.65	84.70	451.05	30.11	19.51	5.35	16.96	62.82
a22h	0.28	6.62	9.87	86.68	449.77	30.02	19.69	5.40	16.57	61.38
a26h*	0.01	6.26	1.19	87.80	56.67	30.58	2.23	5.43	1.60	60.71
a29h*	0.03	6.58	1.32	88.94	67.03	31.27	2.47	5.50	1.72	61.13
a50h*	0.05	7.06	1.85	93.61	121.84	34.93	8.54	7.16	2.63	64.52
Totaux b	4.07		10.59		1410.00		337.30		25.10	
b1h	0.21	5.33	5.28	52.40	394.87	29.41	13.29	4.14	14.26	59.67
b5h	0.23	5.91	6.87	68.07	390.58	29.09	16.25	5.06	14.29	59.78
b11h	0.21	5.51	7.48	74.14	365.77	27.24	15.27	4.75	13.23	55.36
b22h	0.25	6.47	8.57	84.98	395.96	29.49	16.66	5.19	14.39	60.18
b26h*	0.01	6.09	1.03	87.21	50.28	30.47	1.64	5.21	1.37	60.28
b29h*	0.03	6.63	1.16	88.56	60.60	31.24	1.73	5.24	1.48	60.74
b50h*	0.05	7.25	1.61	92.93	87.67	33.25	6.37	6.68	2.04	63.09
<b>Séd.#11</b>										
<b>essai2</b>										
Totaux a	5.08		2.47		1363.00		339.30		13.65	
a1h	0.29	5.97	0.92	39.09	367.26	28.29	30.85	9.55	5.33	40.98
a5h	0.31	6.37	0.96	40.90	351.61	27.09	34.41	10.65	5.19	39.89
a11h	0.41	8.53	1.27	54.12	409.73	31.56	42.99	13.30	5.89	45.33
a22h	0.46	9.53	1.55	65.96	421.31	32.46	45.62	14.12	6.03	46.37
a26h*	0.07	10.28	0.39	77.10	86.29	36.51	8.66	15.67	1.16	51.57
a29h*	0.10	10.76	0.45	79.64	87.37	36.59	9.40	15.90	1.19	51.82
a50h*	0.22	13.27	1.05	105.49	144.57	41.00	25.75	20.96	2.08	58.64
Totaux b	5.52		2.67		1523.00		387.80		14.84	
b1h	0.31	5.91	0.92	36.09	385.51	26.58	31.44	8.51	5.52	39.02
b5h	0.32	6.09	1.03	40.56	393.46	27.13	37.43	10.13	5.76	40.78
b11h	0.44	8.41	1.32	51.73	432.71	29.83	44.14	11.95	6.08	43.02
b22h	0.47	9.00	1.52	59.57	438.41	30.22	46.20	12.51	6.19	43.79
b26h*	0.08	8.89	0.38	63.15	84.35	30.37	8.42	12.44	1.13	43.56
b29h*	0.10	9.22	0.48	67.22	98.75	31.36	10.35	12.96	1.33	44.97
b50h*	0.25	12.10	1.09	91.02	151.50	35.00	24.54	16.81	2.17	50.91

\* déc. et acid.

Annexe 26a:

Echantillon	Ni2316		P_1774		Pb2203		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#2</b>											
<b>essai 2</b>											
Totaux a	0.87		20.66		1.62		52.84		11.87		0.00
a1h	0.09	10.93	-0.31	-1.60	0.56	36.38	2.61	5.18	2.86	25.29	-16.38
a5h	0.13	15.79	-0.34	-1.74	0.71	46.07	2.50	4.97	4.05	35.85	-18.69
a11h	0.11	13.30	-0.42	-2.12	0.81	52.55	3.04	6.05	4.30	38.07	-17.59
a22h	0.25	30.31	-0.45	-2.29	1.06	68.60	4.10	8.15	5.32	47.02	-13.39
a26h*	0.04	31.81	0.40	0.00	0.23	75.12	1.79	10.75	1.02	50.48	-17.13
a29h*	0.05	32.73	0.89	2.51	0.24	76.04	2.33	11.82	0.79	48.43	-16.99
a50h*	0.15	44.69	0.09	-1.56	0.03	62.57	9.33	25.72	1.10	51.16	-19.28
Totaux b	0.82		50.24		1.68		140.80		11.85		0.00
b1h	0.09	11.09	-0.23	-0.48	0.61	37.94	1.98	1.48	3.38	29.98	-22.93
b5h	0.12	15.68	-0.40	-0.84	0.84	52.30	2.78	2.08	4.18	37.00	-23.00
b11h	0.14	18.18	-0.41	-0.86	0.98	61.21	3.60	2.68	4.91	43.49	-22.12
b22h	0.26	32.79	-0.40	-0.84	1.37	85.66	4.98	3.72	5.27	46.74	-15.58
b26h*	0.03	32.22	0.37	0.05	0.23	87.88	2.66	5.19	0.70	46.50	-21.89
b29h*	0.06	35.84	1.07	1.51	0.44	101.52	3.26	5.63	0.88	48.09	-20.15
b50h*	0.12	43.97	5.28	10.31	0.39	97.98	6.74	8.23	1.42	52.86	-18.51
<b>Séd.#3</b>											
<b>essai 2</b>											
Totaux a	4.65		24.31		2.19		32.52		35.25		0.00
a1h	0.60	13.64	-0.48	-2.07	0.77	36.94	1.22	3.94	18.54	55.22	-21.13
a5h	0.71	16.07	0.46	1.98	0.90	43.29	1.54	4.97	22.04	65.65	-20.42
a11h	0.84	18.96	-0.50	-2.16	1.21	57.90	1.58	5.10	24.73	73.65	-20.18
a22h	0.97	21.86	-0.58	-2.52	1.23	58.90	1.75	5.66	25.08	74.71	-16.53
a26h*	0.11	22.07	-0.02	-2.32	0.15	59.92	1.38	9.51	2.55	74.26	-22.03
a29h*	0.14	22.66	0.06	-1.99	0.34	69.01	1.30	9.26	2.91	75.36	-20.67
a50h*	0.44	29.56	0.00	-2.24	0.36	69.60	1.99	11.48	5.57	83.26	-15.90
Totaux b	4.08		22.46		1.83		28.95		31.37		0.00
b1h	0.54	13.97	-0.51	-2.37	0.69	39.65	1.03	3.74	16.99	56.88	-22.16
b5h	0.64	16.55	0.34	1.58	0.90	51.33	1.34	4.88	19.25	64.42	-21.83
b11h	0.67	17.34	0.45	2.10	0.95	54.68	1.42	5.13	19.39	64.91	-21.67
b22h	0.79	20.43	-0.43	-1.99	1.15	65.64	1.71	6.21	21.48	71.89	-19.43
b26h*	0.11	21.30	0.02	-1.73	0.10	65.20	1.11	9.67	2.22	72.57	-21.19
b29h*	0.11	21.47	0.02	-1.73	0.20	70.77	1.10	9.61	2.50	73.51	-20.10
b50h*	0.31	26.58	0.26	-0.56	0.36	80.27	1.93	12.64	4.20	79.21	-19.82
<b>Séd.#11</b>											
<b>essai2</b>											
Totaux a	2.12		32.38		8.19		126.40		60.14		0.00
a1h	0.21	10.25	-0.41	-1.34	4.01	51.34	2.61	2.17	36.37	63.49	-23.34
a5h	0.24	12.06	-0.40	-1.29	3.78	48.51	3.38	2.81	37.93	66.22	-22.61
a11h	0.34	16.87	-0.54	-1.75	4.74	60.74	4.33	3.60	46.51	81.20	-21.81
a22h	0.39	19.46	-0.36	-1.17	5.25	67.30	5.00	4.15	49.37	86.20	-19.78
a26h*	0.11	23.21	0.70	1.18	1.25	77.97	2.17	5.62	9.81	96.42	-20.23
a29h*	0.09	22.44	0.88	1.77	1.47	80.69	2.13	5.59	10.00	96.76	-21.87
a50h*	0.25	30.41	1.43	3.58	1.96	87.07	4.07	7.20	17.13	109.22	-19.34
Totaux b	2.25		38.13		8.22		144.20		63.11		0.00
b1h	0.22	10.11	-0.41	-1.12	4.00	51.13	2.98	2.17	37.35	62.14	-23.18
b5h	0.27	12.64	-0.45	-1.23	3.94	50.36	3.63	2.64	41.58	69.17	-23.47
b11h	0.35	16.14	-0.50	-1.37	5.07	64.78	4.31	3.14	48.04	79.93	-21.73
b22h	0.41	19.04	-0.40	-1.09	5.07	64.80	4.96	3.61	51.02	84.89	-20.99
b26h*	0.06	18.10	0.24	-0.22	1.13	67.05	2.18	4.53	9.49	84.75	-21.73
b29h*	0.09	19.47	0.45	0.36	1.39	70.37	2.22	4.56	11.32	87.80	-21.32
b50h*	0.28	28.45	3.36	8.37	2.61	85.99	3.98	5.84	17.17	97.54	-18.37

\* déc. et acid.

Annexe 26b: Suivi des métaux dans les sédiments #2, #3, #6, #8 et #11 lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl3 (0.082 mL FeCl3/g séd sec a pH=2).

Echantillon	Pb		Cu		Zn		Mn	
Sédiment	Moyenne (mg/kg sed sec)		Moyenne (mg/kg sed sec)		Moyenne (mg/kg sed sec)		Moyenne (mg/kg sed sec)	
<b>Brut</b>								
sed#6	410.00		482.00		11608.0		240.00	
sed#8	54.60		54.60		223.9		873.60	
sed#2	75.61		94.00		744.00		917.00	
sed#3	62.18		334.46		1016.26		707.52	
sed#11	281.07		123.00		2035.00		520.00	
<b>Sédiments traités et filtrés</b>		<b>%d'enlèv (%)</b>		<b>%d'enlèv (%)</b>		<b>%d'enlèv (%)</b>		<b>%d'enlèv (%)</b>
<b>séd#6</b>								
a.48h	405.45	1.11	516.69	-7.20	4471.3	61.48	127.18	47.01
b.48h	414.59	-1.12	527.84	-9.51	4966.5	57.22	134.36	44.02
<b>séd#8</b>								
a.29h	40.40	26.01	38.11	30.20	122.0	45.52	373.48	57.25
b.29h	40.35	26.10	35.09	35.73	122.8	45.14	385.97	55.82
<b>séd#2 (essai 2)</b>								
162a.29	57.63	23.78	62.30	33.72	467.28	37.19	264.79	71.12
162b.29	58.20	23.03	66.14	29.64	555.53	25.33	264.54	71.15
<b>séd#3 (essai 2)</b>								
163a.29	36.43	41.41	100.00	70.10	285.72	71.89	300.01	57.6
163b.29	36.15	41.86	97.00	71.00	255.72	74.84	308.63	56.38
<b>séd#11 (essai 2)</b>								
1611a.50	101.53	63.88	62.59	49.11	229.48	88.72	215.57	58.54
1611b.50	112.31	60.04	48.83	60.30	244.15	88.0	244.15	53.05

Annexe 26b:

Echantillon	Ni		Cr		Fe		Cd	
Sédiment	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)	
sed#6	36.00		158.00		160904		44.93	
sed#8	54.60		111.38		57866		0.65	
sed#2	35.00		116.00		39344		2.55	
sed#3	132.93		99.05		35132		5.10	
sed#11	78.00		182.00		46774		3.15	
<b>Sédiments</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>
<b>traités et</b>		<b>(%)</b>		<b>(%)</b>		<b>(%)</b>		<b>(%)</b>
<b>filtrés</b>								
<b>séd#6</b>								
a 48h	31.8	11.67	158.19	-0.12	155125	3.59	40.86	9.06
b 48h	38.39	-6.64	143.96	8.89	171162	-6.38	43.19	3.87
<b>séd#8</b>								
a.29h	45.73	16.25	120.43	-8.13	40435	30.12	0.30	53.85
b.29h	70.18	-28.53	142.98	-28.37	42018	27.39	0	100.00
<b>séd#2</b>								
<b>(essai 2)</b>								
162a.29	31.15	11.00	112.15	3.32	30451	22.6	2.34	8.24
162b.29	39.68	-13.37	66.14	42.98	27816	29.3	2.25	11.76
<b>séd#3</b>								
<b>(essai 2)</b>								
163a.29	114.29	14.02	60.72	38.7	38429	-9.38	0.93	81.76
163b.29	123.45	7.13	111.11	-12.18	38799	-10.44	1.15	77.45
<b>séd#11</b>								
<b>(essai 2)</b>								
1611a.50	62.59	19.76	165.51	9.06	32753	29.98	1.53	51.43
1611b.50	68.36	12.36	201.18	-10.54	40334	13.77	1.07	66.03

Annexe 26c: Suivi de l'As et le Hg dans  
les sédiments #2,#3,#6,#8,#11,lors  
de l'application du traitement de  
solubilisation chimique avec HCl et FeCl3  
(0.082 mL FeCl3/g séd sec a pH=2).

Echantillon sédiment	As	Hg		
	Moyenne (mg/kg sed sec)	%d'enlèv (%)		%d'enlèv (%)
<b>brut</b>				
sed #6	43.25		15.80	
sed #8	9.10		24.80	
sed #2	5.33		0.67	
sed #3	17.00		0.26	
sed #11	17.00		2.32	
<b>sédiments traités et filtrés</b>				
<b>séd #6</b>				
a22h	12.00	72.25	16.00	-1.27
b22h	38.00	12.14	17.00	-7.59
a27h	28.00	35.26	19.00	-20.25
b27h	46.00	-6.36	17.00	-7.59
<b>séd #8</b>				
a22h	7.10	21.98	22.00	11.29
b22h	7.20	20.88	26.00	-4.84
a27h	12.00	-31.87	26.00	-4.84
b27h	8.10	10.99	25.00	-0.81
<b>séd #2 (essai2)</b>				
a22h	5.80	-8.82	0.74	-11.58
b22h	7.30	-36.96	0.77	-15.64
a25h	7.90	-48.22	0.77	-15.64
b25h	11.00	-107.55	0.77	-16.09
<b>séd #3 (essai2)</b>				
a22h	24.00	-41.18	0.24	7.42
b22h	19.00	-11.76	0.22	15.63
a25h	27.00	-58.82	0.17	32.81
b25h	25.00	-47.06	2.00	-681.25
<b>séd #11 (essai2)</b>				
a22h	12.00	29.41	2.90	-25.00
b22h	17.00	0.00	2.80	-20.69
a25h	19.00	-11.76	2.00	13.79
b25h	16.00	5.88	2.40	-3.45

Annexe 26d: Evaluation des solides totaux et volatils en suspension  
 (MES, MVS) dans le surnageant des décantations faites sur les essais  
 avec une solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> dans les  
 sédiments #2, #3, #6, #8, #11 (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2)

Echantillon	MES (mg sol.susp.tot./L)	MVS (mg sol.vol./L)
<b>Après 24 heures</b>		
<b>Essai #1</b>		
Séd#2a	0.085	0.015
Séd#2b	0.1	0.015
Séd#3a	0.115	0.01
Séd#3b	0.15	0.017
Séd#6a	0.145	0.035
Séd#6b	0.155	0.045
Séd#8a	0.08	0.01
Séd#8b	0.08	0.023
Séd#11a	0.12	0.01
Séd#11b	0.085	0.015
<b>Essai#2</b>		
Séd#2a	0.07	0.01
Séd#2b	0.08	0.01
Séd#3a	0.18	0.014
Séd#3b	0.13	0.04
Séd#11a	0.12	0.02
Séd#11b	0.95	0.01

Annexe 26e: Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais avec une solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2)

Echantillon	Début (% SV)	Fin (% SV)
Séd#2	19.27	17.05
Séd#3	12.47	10.36
Séd#6	19.29	17.02
Séd#11	17.59	17.29
<b>Essai#2</b>		
Séd#2	18	17.21
Séd#3	12.01	11.07
Séd#11	18.19	20.49

Annexe26fi)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux  
dans les sédiments #2,#3,#6,#8,#11, lors de l'application du traitement  
de solubilisation chimique avec HCl et FeCl3 (0.082 mL FeCl3/g séd sec).

## I-Métaux totaux

STATION	Cd mg/kg total	Cr mg/kg total	Cu mg/kg total	Fe mg/kg total	Mn mg/kg total	Ni mg/kg total	Pb mg/kg total	Zn mg/kg total
sed6-0h	45.60	128.45	542.00	135000	250.00	42.00	475.00	9563.00
sed 6a-30h	51.92	163.50	508.10	168237	214.72	36.94	512.03	6187.60
sed8-0h	1.14	114.88	62.11	41940	1236.70	58.68	53.94	226.36
sed 8a-30h	0.22	121.74	34.49	41019	465.31	50.65	42.59	129.36
sed2-0h	3.04	77.60	61.56	29148	471.10	32.95	139.52	696.64
sed2a(II)-29h	1.81	100.26	63.51	33985	287.40	34.21	54.61	506.43
sed3-0h	6.03	144.44	458.60	42904	950.30	159.30	89.30	1195.00
sed3a(II)-29h	0.59	113.28	109.24	38200	370.51	120.21	36.98	300.20
sed11-0h	3.88	173.70	129.50	46023	406.00	73.10	372.80	2009.00
sed11a(II)-29h	1.04	135.94	55.87	35249	289.09	61.88	138.88	191.84



Annexe 26fii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux  
 dans les sédiments #2,#3,#6,#8,#11, lors de l'application du traitement  
 de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH2)

**II-Fraction NaOAc** : incluant MgCl<sub>2</sub>, fraction échangeable + métaux liés aux carbonates.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed6-0h	0.16	15.04	0.57	2627	40.20	5.01	75.40	650.00
sed6a-30h	0.38	13.74	0.89	418	6.20	1.33	105.15	431.46
sed8-0h	0.61	2.40	2.77	884	472.06	2.95	14.20	45.18
sed8a-30h	0.03	2.67	0.28	141	12.87	0.64	4.14	3.09
sed2-0h	0.22	3.26	0.19	1152	73.55	2.33	28.02	75.41
sed2a-29h	0.00	4.37	0.18	355	5.52	0.62	6.33	4.89
sed3-0h	3.00	2.14	75.46	1785	384.40	13.40	26.80	503.00
sed3a(II)-29h	0.03	1.65	1.31	760	6.62	1.31	6.53	10.36
sed11-0h	2.02	7.49	8.73	1333	36.05	4.41	157.00	919.00
sed11a(II)-29h	0.11	5.41	0.71	451	7.01	1.06	32.64	41.87

Annexe 26fiii):

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les sédiments #2,#3,#6,#8,#11, lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec).

### III-Fraction 3b : métaux liés aux hydroxydes de Fe et Mn.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed6-0h	28.20	56.40	2.81	12142	34.50	8.20	268.80	5816.00
sed6a-30h	32.84	52.66	3.01	5481	16.12	4.51	251.48	3009.16
sed8-0h	0.45	11.18	2.64	5326	354.76	8.13	15.04	66.28
sed8a-30h	0.08	7.87	0.41	5694	60.04	6.21	7.45	22.57
sed2-0h	0.66	15.24	2.28	4607	114.89	5.92	43.00	134.23
sed2a-29h	0.06	12.59	0.43	8108	42.68	4.69	15.58	40.54
sed3-0h	2.47	8.00	8.66	8571	211.10	47.50	41.80	472.90
sed3a-29h	0.08	6.13	4.23	7184	72.89	39.30	12.25	114.94
sed11-0h	1.47	40.50	4.45	16600	65.70	10.40	114.90	665.70
sed11a-29h	0.44	18.33	1.26	6846	56.88	8.22	48.24	34.97

Annexe 26fiv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les sédiments #2,#3,#6,#8,#11, lors de l'application du traitement de solubilisation chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec à pH=2).

#### IV-Fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : métaux liés a la matière organique et aux sulfures.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed6-0h	8.50	8.00	347.00	1064	3.60	5.20	48.00	1914.00
sed6a-30h	9.10	20.60	345.20	1238	2.40	5.60	62.40	1580.00
sed8-0h	0.08	8.80	17.20	870	23.60	8.60	3.20	24.40
sed8a-30h	0.06	11.20	9.80	1434	12.40	8.80	3.00	22.20
sed2-0h	2.16	15.60	91.60	2010	13.00	11.20	22.00	420.00
sed2a-29h	1.70	24.80	50.40	3350	14.20	12.40	13.20	386.00
sed3-0h	0.56	12.80	310.00	598	16.80	18.20	6.20	108.20
sed3a-29h	0.38	14.00	82.20	1306	11.00	21.60	5.20	82.40
sed11-0h	0.38	20.10	87.00	2591	19.10	8.10	19.40	77.80
sed11a-29h	0.44	26.20	34.40	2152	10.20	9.60	26.00	43.00

Annexe 26fv):

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux  
dans les sédiments #2,#3,#6,#8,#11, lors de l'application du traitement  
de solubilisation chimique avec HCl et FeCl3 (0.082mL FeCl3/gsed sec)

V-Fraction HF : fraction résiduelle.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed6-0h	8.70	42.25	191.00	119450	172.50	24.00	83.20	1183.00
sed6a-30h	9.60	76.50	159.00	161100	190.00	25.50	93.00	1167.00
sed8-0h	0.00	92.50	39.50	34860	386.20	39.00	21.50	90.50
sed8a-30h	0.05	100.00	24.00	33750	380.00	35.00	28.00	81.50
sed2-0h	0.00	43.50	13.50	21380	269.70	13.50	46.50	67.00
sed2a-30h	0.05	58.50	12.50	22100	225.00	16.50	19.50	75.00
sed3-0h	0.00	91.50	64.00	31950	337.00	80.50	14.50	111.50
sed3a-29h	0.10	91.50	21.50	28950	280.00	58.00	13.00	92.50
sed11-0h	0.03	107.50	31.00	29075	243.75	47.25	79.25	94.65
sed11a-29h	0.05	86.00	19.50	25800	215.00	43.00	32.00	72.00

Annexe 26g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les sédiments #2, #3, #6, #8, #11 solubilisés de façon chimique avec HCl et FeCl<sub>3</sub> (0.08 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd. sec à pH=2).

		Concentration de Mz+ (nmole/L)				
		Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
séd.#2	avant trait.		4.8	2.57	0.34	9.03
	après trait.		0.46	1.16	0.69	1.55
séd.#3	avant trait.		5.93	5.82	0.11	8.06
	après trait.		3.33	5.74	0.039	2.34
séd.#6	avant trait.	118.2	0.89	0.35	0.28	31.2
	après trait.	294	2.1	0.43	0.58	35.8
séd.#8	avant trait.		2.66	1.38	0.55	1.55
	après trait.		0.39	0.99	0.025	0.49
séd.#11	avant trait.		1.74	5.27	0.15	7.013
	après trait.		1.19	10	0.17	0.91

et pour déterminer Mz+ les constantes employées sont

Cd	x=0.82	y=0.96	(Nom*Kom-Cd)=10-1.22 et (NFe*KFe-Cd)=10-2.38
Zn	x=1.26	(NFe*Km)=10-2.38	
Ni	x=1.04	(NFe*Km)=10-2.29	
Pb	x=0.81	(NFe*Km)=10+.67	
Cu	x=0.64	(NFe*Km)=10+.10	

Annexe 27a: Solubilisation chimique des métaux avec FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O et FeCl<sub>3</sub> dans  
dans les sédiments du canal Lachine avec ou sans H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> après 4 heures  
(.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
			Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>Séd#11</b>										
<b>Série a</b>										
Totaux			65995.00	1979.85	13476.00	404.28	4.37	0.13	180.63	5.42
a0h	4.76	142.00	0.20	0.01	65.46	17.00	0.01	4.65	0.38	7.33
a4h	3.85	241.00	16.39	0.87	96.72	25.12	0.01	8.81	0.31	5.93
a7.0h*	2.44	500.00	12.57		28.27		0.04		0.26	
a7.5h	2.45	476.00	17.69		31.93		0.06		0.28	
a8h	2.48	470.00	20.06		34.39		0.06		0.27	
a9h	2.50	464.00	32.60		89.22		0.08		0.26	
aRinçage-1	2.75	445.00	7.99		19.31		0.03		0.07	
aRinçage-2			8.23		20.87		0.03		0.07	
<b>Série b</b>										
Totaux			65995.00	1979.85	13476.00	404.28	4.37	0.13	180.63	5.42
b0h	4.76	142.00	0.20	0.01	65.46	17.00	0.01	4.65	0.38	7.33
b4h	3.85	241.00	16.39	0.87	96.72	25.12	0.01	8.81	0.31	5.93
b7.0h	2.84	516.00	7.43	0.96	26.64	26.64	0.03	14.17	0.03	6.08
b7.0h**	2.22	570.00	14.76		33.80		0.05		0.19	
b7.5h	2.29	521.00	24.43		52.62		0.07		0.43	
b8h	2.33	505.00	29.22		67.16		0.08		0.30	
b9h	2.39	492.00	22.49		38.13		0.06		0.24	
bRinçage-1	2.69	466.00	10.69		40.44		0.03		0.07	
bRinçage-2			11.91		46.75		0.03		0.09	

## Annexe 27a:

Echantillon	Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576		Ni2316	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>Séd#11</b>										
<b>Série a</b>										
Totaux	149.58	4.49	53009.00	1590.27	17054.00	511.62	473.00	14.19	104.00	3.12
a0h	0.01	0.24	1402.00	92.57	10.33	2.12	9.01	66.66	0.36	12.01
a4h	0.01	0.27	1477.00	97.52	17.12	3.51	10.72	79.32	0.49	16.61
a7.0h*	0.78		508.00		7.20		3.11		0.18	
a7.5h	1.09		498.20		8.94		3.18		0.20	
a8h	1.18		482.50		9.88		3.15		0.19	
a9h	1.64		293.10		21.05		3.84		0.29	
aRinçage-1	0.46		144.90		6.97		1.11		0.06	
aRinçage-2	0.45		148.30		7.79		1.15		0.07	
<b>Série b</b>										
Totaux	149.58	4.49	53009.00	1590.27	17054.00	511.62	473.00	14.19	104.00	3.12
b0h	0.01	0.24	1402.00	92.57	10.33	2.12	9.01	66.66	0.36	12.01
b4h	0.01	0.27	1477.00	97.52	17.12	3.51	10.72	79.32	0.49	16.61
b7.0h	0.38	2.21	52.70	98.29	6.46	3.81	1.83	82.31	0.12	17.51
b7.0h**	0.94		422.50		8.90		3.43		0.16	
b7.5h	1.41		354.80		12.72		3.53		0.26	
b8h	1.60		339.10		16.53		3.75		0.28	
b9h	1.23		462.00		11.54		3.16		0.19	
bRinçage-1	0.53		80.29		11.73		1.31		0.10	
bRinçage-2	0.55		89.76		13.92		1.46		0.13	

## Annexe 27a:

Echantillon	Pb		P_1774		S_1807		Zn2138		C_1930	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	
<b>Séd#11</b>										
<b>Série a</b>										
Totaux	365.98	10.98	1735.00	52.05	7792.00	233.76	2708.00	81.24	2529.00	
a0h	0.00	0.00	0.00	0.00	827.70	371.79	4.22	5.46	0.00	
a4h	0.10	0.96	0.63	1.26	955.70	429.28	14.06	18.17	0.00	
a7.0h*	2.70		0.02		115.20		30.53		0.00	
a7.5h	3.30		0.09		112.60		37.04		0.00	
a8h	3.20		0.12		111.50		37.69		0.00	
a9h	4.40		0.05		90.55		46.60		0.00	
aRinçage-1	1.10		0.00		41.80		13.36		0.00	
aRinçage-2	1.10		0.00		43.07		13.90		0.00	
<b>Série b</b>										
Totaux	365.98	10.98	1735.00	52.05	7792.00	233.76	2708.00	81.24	2529.00	
b0h	0.00	0.00	0.00	0.00	827.70	371.79	4.22	5.46	0.00	
b4h	0.10	0.96	0.63	1.26	955.70	429.28	14.06	18.17	0.00	
b7.0h	1.20	3.48	0.04	1.28	101.90	439.35	21.60	24.31	0.00	
b7.0h**	3.30		0.26		110.90		33.05		0.00	
b7.5h	4.20		0.08		96.74		42.28		0.00	
b8h	4.60		0.10		97.90		46.10		0.00	
b9h	3.30		0.05		108.00		37.68		0.00	
bRinçage-1	1.20		0.00		36.02		15.69		0.00	
bRinçage-2	1.20		0.00		40.00		17.56		0.00	



Annexe 27b: Suivi des métaux dans les sédiments #11  
solubilisés de façon chimique avec FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O  
et FeCl<sub>3</sub> (0.082 mL FeCl<sub>3</sub>/g séd sec).

Echantillon	Pb		Cu		Ni	
	Moyenne (mg/kg sédsec)		Moyenne (mg/kg sédsec)		Moyenne (mg/kg sédsec)	
<b>Sédiment Brut</b>						
séd#11	365.98		147.57		94.45	
<b>Sédiments traités et filtrés</b>		%d'enlèv (%)		%d'enlèv (%)		%d'enlèv (%)
<b>Série a</b>						
7h*	258.51	29.36	81.64	44.68	81.64	13.57
7.5h	247.68	32.32	69.12	53.16	86.40	8.52
9h	247.63	32.34	64.86	56.05	88.44	6.36
a.R	338.90	7.40	62.76	57.47	87.86	6.97
b.R	196.88	46.21	62.64	57.55	80.54	14.73
<b>Série b</b>						
7h**	246.12	32.75	84.38	42.82	84.38	10.66
7.5h	206.65	43.54	66.66	54.83	73.33	22.37
9h	205.02	43.98	79.73	45.97	85.43	9.56
a.R	183.36	49.90	59.87	59.43	82.32	12.84
b.R	193.04	47.26	56.78	61.53	79.49	15.84

\*ajout de FeCl<sub>3</sub>

\*\*ajout de FeCl<sub>3</sub>  
+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(0.45%,v/v)

## Annexe 27b:

Echantillon	Cr		Zn		Mn		Fe	
	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Sédiment	(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)	
Brut								
séd#11	177.09		2879.48		506.77		55812	
Sédiments		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv
traités et		(%)		(%)		(%)		(%)
filtrés								
Série a								
7h*	176.88	0.12	994.6	65.46	434.3	14.3	57356	-2.77
7.5h	167.04	5.68	772.42	73.18	429.93	15.16	57375	-2.8
9h	170.98	3.45	738.18	74.36	435.89	13.99	60728	-8.81
a.R	150.62	14.94	625.08	78.29	394.5	22.15	54015	3.22
b.R	125.29	29.25	560.2	80.55	354.98	29.95	46057	17.48
Série b								
7h**	161.74	8.67	940.17	67.35	450.32	11.14	69631	-24.76
7.5h	153.32	13.42	727.93	74.72	410.62	18.97	66327	-18.84
9h	136.68	22.82	676.00	76.52	380.54	24.91	61961	-11.02
a.R	130.97	26.04	602.84	79.06	376.45	25.72	62566	-12.10
b.R	124.91	29.47	554.88	80.73	347.20	31.49	58554	-4.91

\*ajout de FeCl3

\*\*ajout de FeCl3

+H2O2(0.45%,v/v)

Annexe 27c:

Suivi de l'As et du Hg dans  
les sédiments #11, lors  
de l'application du traitement de  
solubilisation chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
et  $\text{FeCl}_3$  (0.082 mL  $\text{FeCl}_3/\text{g}$  séd sec à  $\text{pH}=2$ ).

Echantillon sédiment brut séd #11	As			Hg
	Moyenne (mg/kg sed sec)			Moyenne (mg/kg sed sec)
	17.00			2.32
sédiments traités et filtrés séd #11	%d'enlèv		%d'enlèv	
	(%)		(%)	
0h	8.00	52.94	2.40	-3.45
fin du traitement	14.00	17.65	2.50	-7.76

Annexe 27d: Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MES, MVS) dans le surnageant des décantations faites dans les essais où une solubilisation chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (0.082mL  $\text{FeCl}_3$ /g séd sec, séd #11) a été appliquée.

Echantillon	MES (mg sol.susp.tot./L)	MVS (mg sol.vol./L)
<b>Après traitement au <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math></b>		
Séd#11A	0.002	-
Séd#11B	0.01	0.01
<b>Après traitement au <math>\text{FeCl}_3</math></b>		
Séd#11A	0.01	0.01
Séd#11B	0.016	0.017

Annexe 27e: Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais où une solubilisation chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (0.082 mL  $\text{FeCl}_3$ /g séd sec, séd #11) a été appliquée.

Echantillon	Début (% SV)	Fin (% SV)
Séd#11(+H2O2)	16.83	15.61
Séd#11	16.83	32.75

Annexe 27f: Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans le sédiment #11 solubilisé de façon chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (0.082 mL  $\text{FeCl}_3$ /g séd. sec I,II,III,IV,V).

\*Données non-disponibles

Annexe 27g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les sédiments #11  
solubilisés de façon chimique avec  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{FeCl}_3$  (0.082 mL  $\text{FeCl}_3$ /g séd.sec).

\*Données non-diponibles

Annexe 28a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2,#3,#8.

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#2</b>										
Totaux			59155	1775	22028	661	2.54	0.08	73.60	3.82
a0h	2.98	394	38.08	2.25	290.08	46.09	0.02	34.03	0.17	4.71
a21h	2.91	407	40.82	2.42	344.03	54.66	0.02	27.13	0.06	1.75
a28h	2.82	413	44.25	2.62	393.56	62.53	0.02	32.81	0.08	2.22
a45h	2.63	543	49.69	2.94	427.19	67.88	0.02	23.78	0.07	1.79
a46h*	1.74	547	60.16	3.56	460.03	73.09	0.04	50.83	0.10	2.88
a52h*	1.62	550	67.59	4.00	453.92	72.12	0.04	48.79	1.03	28.39
a71h*	2.1	555	89.24	5.28	824.94	131.08	0.03	47.78	0.39	10.60
a77h*	1.74	545	86.64	5.13	777.69	123.57	0.03	37.28	0.43	11.86
a97h*	1.83	515	121.17	7.17	1012.22	160.83	0.04	60.44	0.65	17.91
b0h	3.04	384	26.22	1.55	236.42	37.57	0.01	16.39	0.14	3.93
b21h	2.97	404	34.75	2.06	331.74	52.71	0.02	33.78	0.08	2.26
b28h	2.92	403	31.16	1.84	305.12	48.48	0.02	24.74	0.06	1.52
b45h	2.66	495	39.15	2.32	341.76	54.30	0.02	30.88	0.05	1.50
b46h*	1.76	511	49.03	2.90	363.80	57.80	0.04	57.35	0.08	2.16
b52h*	1.71	524	58.14	3.44	409.25	65.03	0.03	43.76	0.22	5.93
b71h*	1.97	544	83.89	4.96	491.00	78.02	0.03	46.62	0.35	9.68
b77h*	1.72	552	82.56	4.88	454.32	72.19	0.04	60.00	0.42	11.62
b97h*	1.79	559	103.31	6.11	518.36	82.36	0.04	51.49	0.55	15.00
<b>Séd.#3</b>										
Totaux			52790	1958.50	9742.89	361.46	6.09	0.23	137.70	4.58
a0h	3.42	327	40.26	2.16	166.80	48.45	0.11	51.84	0.07	1.54
a21h	2.86	423	53.96	2.89	156.34	45.41	0.17	78.37	0.03	0.59
a28h	2.82	424	62.38	3.34	175.04	50.85	0.19	88.09	0.04	0.83
a45h	2.66	533	69.73	3.74	182.50	53.01	0.21	98.68	0.04	1.01
a46h*	1.71	557	73.64	3.95	172.00	49.96	0.20	92.75	0.06	1.44
a52h*	1.73	561	91.97	4.93	177.52	51.57	0.21	97.07	0.16	3.56
a71h*	1.8	565	123.64	6.63	191.37	55.59	0.23	108.68	0.30	6.78
a77h*	1.69	569	124.99	6.70	194.42	56.48	0.23	108.45	0.30	6.82
a97h*	1.83	563	160.22	8.59	222.18	64.54	0.27	127.50	0.45	10.39
b0h	3.37	331	34.79	1.87	148.68	43.19	0.11	50.51	0.06	1.46
b21h	2.97	402	42.73	2.29	153.07	44.46	0.14	65.23	0.03	0.74
b28h	3.01	394	49.56	2.66	169.95	49.37	0.17	78.13	0.05	1.09
b45h	2.73	461	55.70	2.99	168.72	49.01	0.18	83.12	0.04	0.86
b46h*	1.73	494	68.08	3.65	168.79	49.03	0.19	89.98	0.09	2.07
b52h*	1.76	529	85.36	4.58	170.96	49.66	0.21	95.42	0.11	2.57
b71h*	1.86	582	104.29	5.59	164.09	47.67	0.22	100.33	0.20	4.51
b77h*	1.79	592	105.77	5.67	163.02	47.36	0.20	92.93	0.20	4.63
b97h*	1.9	611	125.29	6.72	178.13	51.74	0.23	107.40	0.30	6.77



## Annexe 28a:

Echantillon	Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576		Ni2316	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#2</b>										
Totaux	90.84	3.53	31096	1706	9404.58	282	446.63	14.88	3.58	4.35
a0h	0.61	18.02	440.14	27.09	52.39	19.50	6.80	47.99	3.06	73.93
a21h	0.62	18.56	227.40	14.00	55.52	20.66	6.89	48.65	2.97	71.77
a28h	0.72	21.45	199.43	12.27	62.58	23.29	7.39	52.12	3.17	76.57
a45h	1.02	30.44	56.37	3.47	65.25	24.28	7.51	52.97	3.20	77.34
a46h*	1.34	39.91	187.64	11.55	68.28	25.41	7.81	55.12	3.30	79.68
a52h*	1.66	49.32	330.26	20.33	67.14	24.99	7.51	52.96	3.15	76.12
a71h*	2.66	79.24	396.28	24.39	77.58	28.87	8.59	60.62	3.51	84.82
a77h*	2.52	74.97	454.13	27.95	71.91	26.76	7.95	56.09	3.24	78.29
a97h*	3.46	100.00	562.56	34.62	89.82	33.43	9.61	67.80	3.90	94.18
b0h	0.38	11.16	362.88	22.33	40.93	15.23	5.21	36.76	2.19	52.81
b21h	0.53	15.79	256.64	15.80	56.32	20.96	6.58	46.46	2.58	62.32
b28h	0.46	13.71	215.78	13.28	50.99	18.98	5.91	41.71	2.33	56.18
b45h	0.73	21.63	90.71	5.58	56.71	21.10	6.42	45.29	2.51	60.69
b46h*	1.01	30.00	181.97	11.20	59.30	22.07	6.59	46.49	2.56	61.69
b52h*	1.35	40.22	302.10	18.59	61.12	22.75	6.69	47.23	2.58	62.38
b71h*	2.45	72.80	434.17	26.72	72.19	26.86	7.52	53.04	2.90	69.99
b77h*	2.48	73.65	476.98	29.36	70.86	26.37	7.37	52.02	2.80	67.52
b97h*	3.10	92.23	566.56	34.87	83.14	30.94	8.27	58.37	3.22	77.80
<b>Séd.#3</b>										
Totaux	429.17	17.75	45461	2151	17888	663.63	948.76	36.01	13.70	14.94
a0h	3.94	23.30	444.92	21.72	29.84	4.72	23.64	68.93	10.09	70.94
a21h	8.29	49.05	192.62	9.40	31.67	5.01	22.59	65.88	9.61	67.56
a28h	9.60	56.76	185.93	9.08	34.27	5.42	23.79	69.36	10.14	71.26
a45h	11.13	65.83	79.14	3.86	37.76	5.97	25.23	73.56	10.99	77.24
a46h*	12.42	73.46	191.16	9.33	35.18	5.57	23.33	68.02	10.20	71.66
a52h*	13.74	81.29	365.65	17.85	37.36	5.91	23.78	69.35	10.27	72.19
a71h*	16.05	94.97	615.19	30.03	47.22	7.47	26.38	76.91	11.68	82.11
a77h*	16.13	95.42	620.15	30.27	50.26	7.95	26.20	76.38	11.54	81.13
a97h*	19.11	113.06	737.52	36.00	75.30	11.91	30.61	89.25	13.76	96.70
b0h	3.42	20.23	395.96	19.33	26.73	4.23	22.03	64.22	9.22	64.81
b21h	5.43	32.15	244.52	11.94	29.67	4.69	21.57	62.89	9.01	63.35
b28h	6.65	39.31	246.31	12.02	34.87	5.52	23.57	68.71	9.95	69.93
b45h	8.15	48.21	117.25	5.72	33.47	5.30	22.96	66.94	9.55	67.13
b46h*	11.11	65.70	214.65	10.48	34.35	5.43	22.94	66.90	10.02	70.42
b52h*	13.23	78.24	326.53	15.94	35.26	5.58	22.95	66.91	10.08	70.85
b71h*	14.49	85.73	452.35	22.08	39.99	6.33	23.43	68.32	10.02	70.43
b77h*	14.25	84.32	449.13	21.92	39.78	6.29	22.41	65.36	9.74	68.47
b97h*	15.88	93.91	516.26	25.20	49.49	7.83	25.15	73.34	10.96	77.05

Annexe 28a:

Echantillon	P_1774		Pb2203		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#2</b>									
Totaux	1344	40.32	95.89	4.28	628.95	628.95	743.19	25.19	-253
a0h	-0.68	-1.76	0.27	6.69	605.62	101.11	11.32	47.20	-4.26
a21h	-0.34	-0.88	0.10	2.38	561.09	93.67	12.33	51.41	-7.04
a28h	-0.30	-0.78	0.02	0.58	595.79	99.46	13.37	55.75	-6.79
a45h	-0.08	-0.21	0.06	1.40	629.04	105.01	14.18	59.09	-6.71
a46h*	1.05	2.75	0.21	5.23	615.29	102.72	15.13	63.05	-1.71
a52h*	2.27	5.91	0.39	9.53	586.00	97.83	14.81	61.73	-0.73
a71h*	2.43	6.32	0.63	15.38	654.92	109.34	17.25	71.89	2.05
a77h*	3.27	8.53	0.97	23.94	586.81	97.97	15.80	65.88	3.29
a97h*	2.99	7.78	1.84	45.15	713.77	119.16	19.81	82.59	8.98
b0h	-0.52	-1.35	0.05	1.24	463.98	77.46	8.02	33.41	-4.46
b21h	-0.35	-0.91	0.03	0.64	536.65	89.59	11.08	46.17	-7.35
b28h	-0.32	-0.82	-0.03	-0.77	481.87	80.45	9.86	41.10	-7.04
b45h	-0.00	-0.00	-0.05	-1.16	506.66	84.58	10.91	45.46	-5.18
b46h*	0.78	2.02	0.19	4.57	510.23	85.18	12.14	50.59	8.88
b52h*	1.72	4.47	0.37	9.01	506.64	84.58	12.85	53.54	5.50
b71h*	3.40	8.85	0.72	17.70	566.61	94.59	15.50	64.61	9.73
b77h*	4.46	11.62	0.76	18.64	539.16	90.01	15.18	63.29	8.03
b97h*	5.22	13.60	1.30	31.94	632.64	105.62	17.96	74.88	10.49
<b>Séd.#3</b>									
Totaux	1158	42.94	80.96	4.20	509.45	18.90	1238	54.75	-215
a0h	-0.68	-1.66	0.07	1.72	497.09	2762	35.15	67.41	-0.99
a21h	-0.20	-0.48	0.24	5.89	413.42	2297	38.51	73.85	-3.29
a28h	-0.21	-0.52	0.28	7.06	451.40	2508	42.80	82.09	-2.51
a45h	0.13	0.31	0.40	9.93	466.07	2589	45.88	87.99	-3.25
a46h*	0.08	0.21	0.77	19.19	426.40	2369	42.63	81.76	2.67
a52h*	0.20	0.50	1.06	26.51	442.03	2456	43.59	83.60	9.27
a71h*	0.86	2.11	1.57	39.21	501.36	2785	49.12	94.20	20.23
a77h*	0.84	2.06	1.63	40.86	503.83	2799	48.71	93.42	16.86
a97h*	1.19	2.92	1.98	49.56	584.09	3245	57.83	110.91	20.63
b0h	-0.52	-1.27	0.08	1.99	453.25	2518	32.15	61.67	-4.01
b21h	-0.42	-1.03	0.16	4.03	401.46	2230	35.68	68.42	-4.40
b28h	-0.29	-0.71	0.20	5.00	440.96	2450	40.62	77.90	-4.37
b45h	-0.01	-0.02	0.10	2.54	411.17	2284	40.38	77.44	-5.27
b46h*	0.06	0.16	0.71	17.85	399.48	2219	40.76	78.17	1.85
b52h*	0.23	0.55	0.92	22.90	406.99	2261	41.86	80.27	8.23
b71h*	0.67	1.64	1.34	33.56	418.78	2326	43.82	84.03	15.73
b77h*	0.56	1.36	1.30	32.55	409.00	2272	42.29	81.10	10.27
b97h*	0.77	1.89	1.36	33.93	454.36	2524	47.44	90.98	10.25

Annexe 28a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd. #8</b>										
Totaux			70416	2112.70	43327	1299.95	1.58	0.05	125.11	3.75
a0h	3.71	284	11.96	0.59	518.68	41.90	0.01	25.06	0.01	0.18
a21h	4.38	344	2.19	0.11	688.01	55.57	0.02	50.01	-0.02	-0.42
a28h	4.5	392	1.28	0.06	743.70	60.07	0.02	40.41	-0.01	-0.28
a45h	3.32	522	20.10	1.00	688.27	55.59	0.02	48.80	-0.01	-0.31
a52h	3.49	515	16.87	0.84	643.36	51.97	0.02	36.26	0.00	0.05
a71h	3.69	506	14.07	0.70	681.92	55.08	0.02	54.34	-0.02	-0.62
a72h*	1.76	573	35.28	1.75	837.67	67.66	0.03	75.01	0.02	0.69
a77h*	1.91		62.76	3.12	802.69	64.84	0.03	69.35	0.15	4.24
a97h*	1.74	563	111.30	5.53	1044.22	84.34	0.05	108.55	0.33	9.34
b0h	3.04	296	14.11	0.70	545.92	44.10	0.01	20.53	0.03	0.79
b21h	3.43	385	14.65	0.73	603.44	48.74	0.02	54.21	-0.01	-0.36
b28h	3.3	525	17.40	0.86	687.44	55.53	0.03	58.84	-0.02	-0.54
b45h	3.51	512	17.25	0.86	689.64	55.70	0.03	63.61	-0.01	-0.17
b52h	3.59	522	14.11	0.70	639.25	51.63	0.02	53.50	-0.01	-0.16
b71h	3.85	503	8.28	0.41	630.25	50.91	0.03	58.84	-0.00	-0.10
b72h*	1.78	562	31.33	1.56	636.18	51.39	0.02	53.37	0.02	0.48
b77h*	1.77		45.97	2.28	742.50	59.97	0.03	55.53	0.03	0.92
b97h*	2.02	575	71.06	3.53	920.40	74.34	0.02	39.63	0.17	4.83

\*acid.  
à pH1.75

Annexe 28a:

Echantillon	Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576		Ni2316	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#8</b>										
Totaux	73.32	2.20	44073	1322.33	22213	666.45	1081.62	32.45	2.55	2.55
a0h	0.09	4.19	270.51	21.48	94.62	14.91	12.82	41.49	0.34	13.92
a21h	0.09	4.18	0.67	0.05	155.08	24.43	15.49	50.13	0.42	17.16
a28h	0.06	2.70	5.12	0.41	153.02	24.11	14.78	47.83	0.38	15.56
a45h	0.56	26.64	1.45	0.12	159.07	25.06	15.52	50.21	0.43	17.54
a52h	0.42	20.16	1.05	0.08	156.33	24.63	15.19	49.16	0.47	19.39
a71h	0.39	18.85	1.38	0.11	183.59	28.92	17.76	57.46	0.53	21.70
a72h*	0.91	43.41	52.84	4.20	191.60	30.19	18.12	58.62	0.52	21.47
a77h*	1.17	55.93	219.22	17.41	179.72	28.32	17.50	56.61	0.56	22.89
a97h*	1.47	70.37	478.81	38.02	218.76	34.47	20.10	65.02	0.71	29.35
b0h	-0.01	-0.46	325.33	25.83	114.89	18.10	13.58	43.94	0.30	12.50
b21h	0.30	14.47	30.45	2.42	144.59	22.78	13.70	44.34	0.37	15.34
b28h	0.36	17.18	7.82	0.62	172.28	27.14	14.95	48.36	0.35	14.55
b45h	0.35	16.85	0.58	0.05	173.21	27.29	16.51	53.41	0.41	16.84
b52h	0.32	15.12	0.15	0.01	159.24	25.09	14.45	46.74	0.40	16.32
b71h	0.21	9.94	-0.16	-0.01	140.22	22.09	12.86	41.61	0.36	14.65
b72h*	0.65	30.87	48.15	3.82	150.43	23.70	13.87	44.88	0.42	17.41
b77h*	0.81	38.74	88.18	7.00	138.44	21.81	12.13	39.23	0.37	15.39
b97h*	1.10	52.67	200.97	15.96	166.55	26.24	15.05	48.71	0.51	21.11

\*acid.  
à pH1.75

Annexe 28a:

Echantillon	P_1774		Pb2203		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#8</b>									
Totaux	1295.25	38.86	45.83	1.37	904.55	904.55	289.04	8.67	-389.88
a0h	-0.41	-1.12	0.07	5.02	746.76	86.68	4.07	49.23	-5.64
a21h	0.02	0.05	0.00	0.13	765.52	88.86	4.86	58.83	-6.14
a28h	0.05	0.14	-0.06	-4.84	750.35	87.10	4.76	57.58	-0.63
a45h	0.07	0.20	0.02	1.51	754.88	87.63	5.31	64.30	3.30
a52h	-0.03	-0.09	0.13	9.95	724.55	84.11	5.59	67.73	4.96
a71h	0.07	0.18	-0.13	-9.65	765.50	88.86	5.71	69.10	3.91
a72h*	2.09	5.66	0.44	33.91	875.12	101.58	6.59	79.78	6.37
a77h*	3.77	10.18	0.25	19.28	797.85	92.61	6.42	77.77	7.46
a97h*	10.94	29.56	0.45	34.72	951.75	110.48	7.48	90.61	14.12
b0h	-0.30	-0.80	-0.00	-0.05	716.90	83.22	3.45	41.77	3.14
b21h	-0.06	-0.16	-0.01	-1.04	643.76	74.73	4.23	51.24	3.30
b28h	-0.04	-0.10	-0.01	-0.91	701.42	81.42	4.81	58.18	4.00
b45h	0.09	0.25	-0.01	-0.65	728.98	84.62	5.07	61.40	1.47
b52h	0.14	0.38	0.00	0.24	677.08	78.60	4.96	60.07	3.15
b71h	0.04	0.12	-0.08	-6.12	635.71	73.79	4.78	57.88	39.71
b72h*	1.53	4.14	0.19	14.59	631.46	73.30	4.68	56.68	9.11
b77h*	1.16	3.13	0.27	20.32	577.92	67.09	4.44	53.81	9.30
b97h*	2.74	7.39	0.29	22.45	663.05	76.97	5.74	69.55	10.22

\*acid.

à pH1.75

Annexe 28b: Suivi des métaux dans les essais de solubilisation  
des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O  
suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2,#3,#8.

Echantillon	Pb		Cu		Zn		Mn	
Sédiment	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)	
séd#2	73.30		80.00		790.00		539.00	
séd#3	97.00		343.60		984.40		1053.00	
séd#8	48.10		55.11		240.48		851.70	
Sédiments traités et filtrés		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv
		(%)		(%)		(%)		(%)
<b>séd#2</b>								
a.45h	152.24	-107.69	48.08	39.90	304.48	61.46	240.38	55.40
b.45h	138.98	-89.60	50.85	36.44	355.93	54.95	237.29	55.98
b.52h	206.064	-181.12	37.206	53.49	597.372	24.38	356.04	33.94
a.77h	104.87	-43.07	74.90	6.37	393.25	50.22	224.71	58.31
b.77h	141.58	-93.15	90.38	-12.97	346.38	56.15	271.08	49.71
<b>séd#3</b>								
a.45h	100.35	-3.45	140.85	59.01	308.11	68.70	264.09	74.92
b.45h	104.75	-7.99	161.99	52.86	291.57	70.40	280.77	73.34
a.77h	72.53	25.23	101.07	70.58	237.8	75.80	267.53	74.59
b.77h	88.29	8.98	110.36	67.88	271.65	72.40	305.6	70.98
<b>séd#8</b>								
a.71h	48.38	-0.58	53.76	2.45	134.4	44.11	376.32	55.82
a.97h	43.51	9.54	28.53	48.23	107	55.51	363.78	57.29

## Annexe 28b:

Echantillon	Ni		Cr		Fe		Cd	
Sédiment	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)		(mg/kg sed sec)	
séd#2	30.70		109.00		23580		2.64	
séd#3	154.00		136.40		35881		7.07	
séd#8	55.11		113.73		57866		0.65	
Sédiments traités et filtrés		%d'enlèv (%)		%d'enlèv (%)		%d'enlèv (%)		%d'enlèv (%)
<b>séd#2</b>								
a.45h	48.08	-56.61	97.75	10.32	57289	-142.96	1.60	39.39
b.45h	50.85	-65.64	157.63	-44.61	51169	-117.00	1.69	35.98
b.52h	35.66	-16.16	65.384	40.01	55665.56	-136.07	0	0
a.77h	56.18	-83.00	103.93	4.65	34943	-48.19	1.40	46.97
b.77h	75.30	-145.28	158.13	-45.07	43041	-82.53	1.51	42.80
<b>séd#3</b>								
a.45h	114.44	25.69	103	24.49	51366	-43.16	0.88	87.55
b.45h	118.79	22.86	137.15	-0.55	44362	-23.64	0	100.00
a.77h	118.9	22.79	126.03	7.60	44439	-23.85	0.59	91.65
b.77h	127.34	17.31	137.52	-0.82	50892	-41.84	0.08	98.87
<b>séd#8</b>								
a.71h	53.76	2.45	133.5	-17.38	49638	14.22	0.9	-38.46
a.97h	49.93	9.40	88.45	22.23	40658	29.74	0.71	-9.23

Annexe 28c: Suivi de l'As et du Hg dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2,#3,#8.

Echantillon	As			Hg
	Moyenne			Moyenne
	(mg/kg sed sec)			(mg/kg sed sec)
<b>sédiment brut</b>				
sed #2	5.33			0.67
sed #3	17.00			0.26
sed #8	9.10			24.80
<b>sédiments traités et filtrés</b>				
		%d'enlèv		%d'enlèv
		(%)		(%)
<b>séd #2</b>				
a45h	6.20	-16.32	0.92	-37.59
a52h	4.50	15.57	1.10	-65.41
<b>séd #3</b>				
a45h	23.00	-35.29	0.35	-35.16
b45h	21.00	-23.53	0.35	-35.16
a52h	14.00	17.65	0.48	-85.94
b52h	25.00	-47.06	0.46	-77.73
<b>séd #8</b>				
a72h	9.60	-5.49	28.00	-12.90
b72h	6.50	28.57	32.00	-29.03
a76h	7.90	13.19	34.00	-37.10
b76h	11.00	-20.88	30.00	-20.97



Annexe 28d: Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MES, MVS) dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivie d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

\*Données non-disponibles

Annexe 28e: Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

Echantillon	Début (% SV)	Fin (% SV)
Séd#3	15.3	11.93 (après 45h)
Séd#3	15.3	12.22 (après 52h)
Séd#8	12.5	8.95 (après 72h)
Séd#8	12.5	8.01 (après 76h)

Annexe 28fi)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

## I-Métaux totaux

STATION	Cd mg/kg total	Cr mg/kg total	Cu mg/kg total	Fe mg/kg total	Mn mg/kg total	Ni mg/kg total	Pb mg/kg total	Zn mg/kg total
sed2-0h	3.04	77.60	61.56	29148	471.10	32.95	139.52	696.64
sed2a-42h	1.38	100.91	61.80	58728	272.44	36.06	125.71	406.21
sed2a-52h	1.36	95.62	54.64	47429	266.35	33.99	124.37	405.02
sed3-0h	6.03	144.44	458.62	42904	950.30	159.30	89.30	1195.00
sed3a-45h	0.97	115.63	182.73	57955	397.64	131.61	96.86	341.20
sed3a-52h	0.72	109.62	135.74	51964	378.70	125.41	86.01	318.88
sed8-0h	1.14	114.88	62.11	41941	1236.70	58.68	53.94	226.36
sed8a-72h	0.37	114.83	56.18	53896	490.48	49.49	63.75	153.01
sed8a-76h	0.10	112.35	33.63	48456	473.82	49.33	58.76	132.44

Annexe 28fii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

**II-Fraction NaOAc** : incluant  $\text{MgCl}_2$ , fraction échangeable + métaux liés aux carbonates.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed2-0h	0.22	3.26	0.19	1152	73.55	2.33	28.02	75.41
sed2a-45h	0.01	4.53	1.81	2229	11.33	3.35	5.71	21.47
sed2a-52h	0.06	4.98	0.80	1604	9.35	2.23	5.25	16.01
sed3-0h	3.00	2.14	75.46	1785	384.40	13.40	26.80	503.00
sed3a-45h	0.38	2.14	16.20	2278	23.76	8.19	10.15	42.01
sed3a-52h	0.20	2.57	6.28	1800	19.82	5.58	7.52	32.04
sed8-0h	0.61	2.40	2.77	884	472.06	2.95	14.20	45.18
sed8a-72h	0.14	1.98	5.86	879	31.39	1.35	11.64	13.72
sed8a-76h	0.06	2.30	0.80	776	22.39	0.89	8.23	6.36

Annexe 28fiii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2,#3,#8.

### III-Fraction 3b : métaux liés aux hydroxydes de Fe et Mn.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed2-0h	0.66	15.24	2.28	4607	114.89	5.92	43.00	134.23
sed2a-45h	0.02	24.78	1.69	25097	30.71	5.51	0.00	40.24
sed2a-52h	0.02	16.64	0.84	17275	31.60	5.06	0.42	32.02
sed3-0h	2.47	8.00	8.66	8571	211.10	47.50	41.80	472.90
sed3a-45h	0.27	12.29	10.83	21453	62.48	35.82	12.71	128.09
sed3a-52h	0.19	9.75	11.66	16430	72.08	39.43	10.39	120.84
sed8-0h	0.45	11.18	2.64	5326	354.76	8.13	15.04	66.28
sed8a-72h	0.08	13.55	4.72	17451	72.89	5.54	8.01	38.39
sed8a-76h	0.02	11.05	1.43	12068	64.43	6.34	5.93	30.68

Annexe 28fiv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2,#3,#8.

#### IV-Fraction $\text{H}_2\text{O}_2$ : métaux liés à la matière organique et aux sulfures.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed2-0h	2.16	15.60	91.60	2010	13.00	11.20	22.00	420.00
sed2a-52h	1.18	18.00	39.00	3800	15.40	10.20	0.20	282.00
sed3-0h	0.56	12.80	310.00	598	16.80	18.20	6.20	108.20
sed3a-52h	0.22	13.80	87.80	1734	11.80	18.40	5.60	49.00
sed8-0h	0.08	8.80	17.20	870	23.60	8.60	3.20	24.40
sed8a-72h	0.04	6.80	16.60	1466	11.20	6.60	4.60	16.40
sed8a-76h	0.02	8.00	7.40	1562	12.00	6.60	3.60	14.40

Annexe 28fv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

V-Fraction HF : fraction résiduelle.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed2-0h	0.00	43.50	13.50	21380	269.70	13.50	46.50	67.00
sed2a-45h	0.15	57.00	14.50	27100	215.00	17.00	120.00	68.50
sed2a-52h	0.10	56.00	14.00	24750	210.00	16.50	118.50	69.50
sed3-0h	0.00	91.50	64.00	31950	337.00	80.50	14.50	111.50
sed3a-45h	0.10	90.00	34.50	32600	300.00	71.00	68.00	121.50
sed3a-52h	0.10	83.50	30.00	32000	275.00	62.00	62.50	117.00
sed8-0h	0.00	92.50	39.50	34860	386.20	39.00	21.50	90.50
sed8a-72h	0.10	92.50	29.00	34100	375.00	36.00	39.50	84.50
sed8a-76h	0.00	91.00	24.00	34050	375.00	35.50	41.00	81.00

Annexe 28g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une acidification avec HCl dans les sédiments #2, #3, #8.

			Concentration de Mz+ (nmole/L)			
			Cu	Ni	Pb	Zn
séd.#2	avant trait.	(0h)	4.31	2.57	0.32	9.1
	après trait.	(45h)	0.59	0.44	0	0.5
	après trait.	(52h)	0.42	0.59	0.008	0.58
séd.#3	avant trait.	(0h)	5.93	5.82	0.11	8.06
	après trait.	(45h)	2.99	1.75	0.14	0.88
	après trait.	(52h)	4.19	2.52	0.015	1.09
séd.#8	avant trait.	(0h)	2.66	1.39	0.55	1.55
	après trait.	(45h)	1.45	0.29	0.009	0.27
	après trait.	(52h)	1.01	0.48	0.009	0.31

et pour déterminer Mz+ les constantes employées sont

Cd	x=0.82	y=0.96	(Nom*Kom-Cd)=10-1.22 et (NFe*KFe-Cd)=10-2.38
Zn	x=1.26		(NFe*Km)=10-2.38
Ni	x=1.04		(NFe*Km)=10-2.29
Pb	x=0.81		(NFe*Km)=10+.67
Cu	x=0.64		(NFe*Km)=10+.10



Annexe 29a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel avec acidification des sédiments dès le départ (sed #3,#6,#11).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288	
			Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)
<b>Séd.#3</b>								
Totaux			58596.5	1757.90	7257.84	217.74	4.10	0.12
0h	3.31	240.00	15.19	0.91	96.78	46.67	0.06	46.94
6h	3.37	214.00	16.01	0.96	95.95	46.27	0.06	49.22
23h	3.02	380.00	36.43	2.18	118.17	56.99	0.11	91.12
30h	2.97	392.00	40.19	2.40	121.89	58.78	0.12	106.63
46h	2.81	436.00	51.59	3.08	125.16	60.36	0.16	133.32
<b>décantation+ trait. au sel (0.5M)</b>								
46h	2.79	473.00	20.88		81.09		0.07	
46.5h	2.71	465.00	22.00		111.55		0.06	
47h	2.73	462.00	20.25		98.06		0.05	
47.5h	2.82	458.00	20.46		98.16		0.06	
48h	2.75	449.00	20.64		111.64		0.06	
49h	2.78	446.00	21.02		114.49		0.08	
51h	2.87	437.00	22.57		112.06		0.06	
1 rincage a	3.07	431.00	12.11		64.05		0.04	
1 rincage b			10.58		62.72		0.04	
2 rincage a	3.10	452.00	3.68		31.27		0.02	
2 rincage b			8.79		57.13		0.03	
<b>Séd.#6</b>								
Totaux			70019.5	2100.58	10835.00	325.05	51.92	1.56
0h	3.43	219.00	311.68	15.58	221.80	71.65	0.04	2.62
6h	3.72	183.00	320.78	16.03	199.34	64.39	0.04	2.80
23h	3.54	298.00	313.88	15.69	181.82	58.73	0.78	52.76
30h	3.52	327.00	368.18	18.40	192.87	62.30	0.92	61.77
46h	3.05	391.00	413.20	20.65	185.39	59.88	0.95	64.07
<b>décantation+ trait. au sel (0.5M)</b>								
46h	3.11	395.00	152.80		110.75		0.37	
46.5h	3.13	387.00	158.67		130.23		0.38	
47.5	3.23	385.00	156.06		139.51		0.38	
48h	3.17	378.00	149.31		137.01		0.35	
49h	3.18	378.00	158.01		147.38		0.38	
51h	3.35	376.00	147.22		148.52		0.37	
1 rincage a	3.48	368.00	79.86		83.45		0.20	
1 rincage b			87.68		89.64		0.23	
2 rincage a	3.59	363.00	45.04		49.93		0.06	
2 rincage b			45.01		48.04		0.06	

## Annexe 29a:

Echantillon	Cr2677		Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576	
	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)
<b>Séd. #3</b>										
Totaux	154.41	4.63	436.20	13.09	45134.48	1354.03	17560.82	526.82	594.12	17.82
0h	0.06	1.38	1.11	8.92	373.75	28.98	16.62	3.31	15.88	93.57
6h	0.03	0.70	1.35	10.83	347.70	26.96	17.32	3.45	16.01	94.34
23h	0.03	0.66	5.31	42.61	226.68	17.58	22.60	4.50	18.03	106.24
30h	0.04	1.01	5.95	47.76	200.44	15.54	24.36	4.86	18.06	106.39
46h	0.02	0.56	7.13	57.19	142.47	11.05	25.03	4.99	18.49	108.95
<b>décantation+ trait. au sel (0.5M)</b>										
46h	0.01		3.64		53.11		10.14		6.39	
46.5h	-0.00		4.02		57.43		11.68		6.33	
47h	-0.01		3.38		50.91		10.25		5.31	
47.5h	0.02		3.41		52.51		11.43		5.03	
48h	-0.01		3.79		56.95		12.54		5.70	
49h	0.01		3.90		58.95		14.43		5.82	
51h	0.06		3.80		60.43		13.51		5.49	
1 rincage a	0.02		2.39		36.35		8.08		3.09	
1 rincage b	0.00		2.28		35.87		7.74		3.07	
2 rincage a	0.02		1.56		21.46		3.96		1.44	
2 rincage b	0.00		2.02		31.18		7.05		2.71	
<b>Séd. #6</b>										
Totaux	207.12	6.21	585.85	17.58	181773	5453.20	7596.00	227.88	300.80	9.02
0h	0.34	5.67	0.03	0.18	627.10	12.07	36.36	16.76	4.53	52.68
6h	0.30	5.00	0.01	0.08	608.69	11.72	33.54	15.45	4.44	51.69
23h	0.13	2.20	0.82	4.88	487.06	9.38	33.03	15.22	4.06	47.19
30h	0.19	3.28	2.62	15.64	456.99	8.80	34.30	15.80	4.23	49.21
46h	0.14	2.32	4.96	29.64	206.84	3.98	32.81	15.12	4.06	47.25
<b>décantation+ trait. au sel (0.5M)</b>										
46h	0.07		504.53		76.07		13.31		1.45	
46.5h	0.04		473.14		80.11		13.90		1.48	
47.5	0.07		506.23		80.16		13.79		1.45	
48h	0.03		465.07		77.91		13.50		1.42	
49h	0.06		496.25		83.89		14.81		1.49	
51h	0.03		463.39		79.61		14.95		1.40	
1 rincage a	0.03		961.07		44.04		9.19		0.75	
1 rincage b	0.04		968.85		48.85		10.06		0.83	
2 rincage a	-0.01		1918.35		26.01		6.84		0.41	
2 rincage b	-0.02		0.89		25.66		6.29		0.41	

Annexe 29a:

Echantillon	Ni2316		Pb		P_1774		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#3</b>											
Totaux	170.34	5.11	90.16	2.70	1274.90	38.25	2039.54	61.19	952.99	28.59	-82.20
0h	1.51	31.04	0.00	0.00	-0.05	-0.13	1086.38	1864.30	17.90	65.72	-2.01
6h	1.54	31.74	0.00	0.00	-0.00	-0.00	1086.00	1863.65	19.07	70.04	-2.48
23h	1.84	37.71	0.20	7.76	0.05	0.14	347.94	597.09	26.03	95.60	-2.75
30h	1.87	38.43	0.20	7.76	0.08	0.21	353.84	607.21	27.74	101.88	-3.76
46h	1.96	40.25	0.30	11.65	0.04	0.11	361.20	619.84	31.57	115.95	-3.52
décantation trait. au sel (0.5M)											
46h	0.58		0.80		0.10		158.64		9.32		-3.36
46.5h	0.72		1.00		0.01		177.65		9.44		-6.43
47h	0.54		1.20		-0.04		153.27		8.46		-6.19
47.5h	0.53		1.00		0.22		146.63		8.05		-2.42
48h	0.64		1.20		0.10		164.92		8.63		-4.11
49h	0.64		1.20		0.05		162.63		8.74		-8.52
51h	0.67		1.40		0.33		158.72		9.02		-3.84
1 rincage a	0.36		0.50		0.06		1.92		5.96		-3.27
1 rincage b	0.39		0.40		0.09		2.01		5.20		-2.26
2 rincage a	0.21		0.20		-0.04		3.59		2.82		-0.94
2 rincage b	0.29		0.30		0.11		5.09		4.33		-1.70
<b>Séd.#6</b>											
Totaux	61.07	1.83	466.24	13.99	2263.60	67.91	17158.30	514.75	9955.41	298.66	837.49
0h	0.44	25.06	0.60	4.50	0.76	1.18	1090.77	222.50	88.93	31.27	41.15
6h	0.35	20.33	0.80	6.01	0.71	1.10	1132.96	231.10	104.18	36.63	45.78
23h	0.41	23.53	3.20	24.02	0.26	0.40	1153.16	235.22	192.06	67.52	34.83
30h	0.39	22.24	4.60	34.53	1.38	2.13	1177.44	240.18	210.61	74.04	44.41
46h	0.37	20.99	3.90	29.28	0.28	0.43	1180.85	240.87	212.48	74.70	25.51
décantation trait. au sel (0.5M)											
46h	0.15		5.60		-0.00		436.44		69.70		11.92
46.5h	0.16		6.00		0.00		457.74		71.19		11.49
47.5	0.19		5.90		0.04		465.22		70.37		15.58
48h	0.18		5.50		0.05		445.43		66.81		14.83
49h	0.17		5.80		0.10		476.98		70.80		9.68
51h	0.17		5.70		0.10		456.22		67.49		11.53
1 rincage a	0.10		2.50		-0.01		255.36		37.28		7.26
1 rincage b	0.13		2.80		0.02		279.56		40.95		9.45
2 rincage a	0.08		1.20		-0.01		149.53		21.53		5.47
2 rincage b	0.06		1.20		0.02		147.41		21.05		7.22

Annexe 29a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel avec acidification des sédiments dès le départ (sed #3, #6, #11).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
			Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)
<b>Séd.#11</b>										
Totaux a			69796.4	2093.89	11993.39	359.80	3.49	0.10	197.07	5.91
0h	3.60	222.00	23.72	1.19	126.11	36.80	0.01	14.32	0.05	0.82
6h	3.77	198.00	27.19	1.36	130.12	37.97	0.02	24.00	0.00	0.04
23h	2.83	430.00	64.71	3.24	163.45	47.70	0.07	70.78	0.04	0.71
30h	2.76	569.00	73.01	3.66	170.55	49.77	0.07	71.21	0.07	1.28
46h	2.76	538.00	76.60	3.84	173.25	50.56	0.07	73.44	0.10	1.79
<b>décantation + trait. au sel (0.5M)</b>										
a46h	2.82	487.00	30.58		91.86		0.03		0.02	
a46.5h	2.76	479.00	38.91		115.09		0.04		0.03	
a47h	2.81	466.00	34.88		113.36		0.04		0.06	
a47.5h	2.78	458.00	36.64		124.16		0.04		0.05	
a48h	2.80	457.00	36.73		124.87		0.04		0.06	
a49h	2.83	457.00	36.71		132.31		0.04		0.04	
a51h	2.76	446.00	35.28		127.08		0.05		0.04	
a1 rincage a	3.07	438.00	20.24		84.33		0.02		0.02	
a1 rincage b			23.61		95.31		0.02		0.04	
a2 rincage a	3.17	433.00	8.52		47.73		0.02		0.02	
a2 rincage b			9.47		48.28		0.01		0.01	
Totaux b			70760.0	2122.80	12240.00	367.20	3.81	0.11	201.80	6.05
b0h	3.50	226.00	35.43	1.75	157.29	44.98	0.01	13.21	0.08	1.31
b6h	3.70	207.00	43.04	2.13	150.69	43.09	0.02	19.68	0.04	0.72
b23h	2.81	423.00	73.19	3.62	191.01	54.62	0.06	57.88	0.07	1.20
b30h	2.76	553.00	87.41	4.32	220.03	62.92	0.09	82.48	0.09	1.57
b46h	2.74	537.00	91.94	4.55	226.16	64.67	0.07	63.15	0.12	2.08
<b>décantation + trait. au sel (0.5M)</b>										
b46h	2.79	494.00	48.28		152.61		0.02		0.03	
b46.5h	2.77	481.00	41.51		142.91		0.02		-0.02	
b47h	2.81	471.00	39.09		137.76		0.02		0.03	
b47.5h	2.78	461.00	43.30		164.92		0.02		0.01	
b48h	2.82	459.00	44.69		150.84		0.02		3.07	
b49h	2.83	452.00	41.58		161.11		0.03		0.26	
b51h	2.77	445.00	41.99		165.19		0.02		0.05	
b56h	2.97	439.00	42.74		173.20		0.03		0.00	
b67h	2.88	438.00	48.09		180.41		0.04		-0.02	
b1 rincage a	3.12	438.00	20.02		93.51		0.02		-0.00	
b1 rincage b			23.62		111.34		0.02		-0.02	
b2 rincage a	3.37	406.00	3.17		33.90		-0.01		-0.00	
b2 rincage b			3.39		35.38		0.00		-0.01	

Annexe 29a:

Echantillon	Cr2677		Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576	
	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)
<b>Séd. #11</b>										
Totaux a	197.07	5.91	130.69	3.92	43726	1311.77	17219.89	516.60	414.70	12.44
0h	0.05	0.82	0.01	0.26	382.88	30.65	29.95	6.09	6.18	52.12
6h	0.00	0.04	0.05	1.40	348.45	27.89	31.94	6.49	6.42	54.16
23h	0.04	0.71	1.05	28.05	97.66	7.82	43.41	8.82	7.34	61.93
30h	0.07	1.28	1.43	38.30	36.65	2.93	45.90	9.33	7.46	63.00
46h	0.10	1.79	1.61	43.21	24.99	2.00	46.75	9.50	7.11	60.03
<b>décantation+ trait. au sel (0.5M)</b>										
a46h	0.02		0.68		15.32		16.75		2.39	
a46.5h	0.03		0.80		21.01		20.32		2.71	
a47h	0.06		0.70		20.38		18.07		2.42	
a47.5h	0.05		0.76		21.91		20.22		2.54	
a48h	0.06		0.72		22.48		20.02		2.57	
a49h	0.04		0.77		21.92		21.43		2.59	
a51h	0.04		0.75		22.56		21.81		2.49	
a1 rincage a	0.02		0.55		15.20		14.60		1.54	
a1 rincage b	0.04		0.61		17.85		16.29		1.81	
a2 rincage a	0.02		0.34		9.90		8.84		0.93	
a2 rincage b	0.01		0.38		10.00		9.35		0.98	
Totaux b	201.80	6.05	142.40	4.27	45220	1356.60	17700.00	531.00	430.00	12.90
b0h	0.08	1.31	0.04	1.06	421.43	32.62	37.99	7.51	7.52	61.23
b6h	0.04	0.72	0.22	5.35	327.08	25.32	36.67	7.25	7.18	58.47
b23h	0.07	1.20	1.25	30.81	139.62	10.81	46.97	9.29	8.10	65.92
b30h	0.09	1.57	1.80	44.19	49.35	3.82	54.34	10.74	8.64	70.32
b46h	0.12	2.08	1.99	48.98	29.27	2.27	55.65	11.00	8.39	68.25
<b>décantation+ trait. au sel (0.5M)</b>										
b46h	0.03		1.05		19.88		24.02		3.38	
b46.5h	-0.02		0.90		19.82		20.27		2.83	
b47h	0.03		0.84		19.75		19.76		2.64	
b47.5h	0.01		0.92		21.94		23.30		2.89	
b48h	3.07		0.86		35.13		21.73		2.72	
b49h	0.26		0.88		23.54		24.40		2.79	
b51h	0.05		0.90		22.82		25.89		2.86	
b56h	0.00		0.92		24.62		27.44		2.99	
b67h	-0.02		1.03		21.08		29.85		3.16	
b1 rincage a	-0.00		0.55		12.13		15.23		1.60	
b1 rincage b	-0.02		0.63		14.04		17.41		1.86	
b2 rincage a	-0.00		0.21		4.91		5.37		0.56	
b2 rincage b	-0.01		0.22		5.25		5.89		0.59	

Annexe 29a:

Echantillon	Ni2316		Pb		P_1774		S_1807		Zn2138		C_1930	
	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	
<b>Séd.#11</b>												
Totaux a	91.78	2.75	379.73	11.39	1907.22	57.22	6833.46	205.00	2070.00	62.10	19286.87	578.61
0h	0.34	12.81	0.10	0.92	0.02	0.03	1140.69	584.24	33.62	56.85	3.91	
6h	0.39	14.86	0.40	3.69	-0.17	-0.30	1148.78	588.39	41.08	69.46	3.86	
23h	0.45	17.28	2.20	20.28	-0.01	-0.01	459.29	235.24	63.38	107.16	4.24	
30h	0.59	22.47	2.60	23.96	0.07	0.13	451.84	231.42	65.49	110.74	4.34	
46h	0.59	22.51	2.50	23.04	0.07	0.13	449.62	230.29	64.59	109.21	5.44	
<b>décantation</b>												
<b>trait. au sel</b>												
<b>(0.5M)</b>												
a46h	0.22		4.40		0.05		179.68		20.67		9.99	
a46.5h	0.24		6.20		0.11		204.07		22.57		14.03	
a47h	0.26		5.60		0.18		183.10		20.47		14.10	
a47.5h	0.34		5.80		0.16		196.52		21.17		13.98	
a48h	0.31		5.80		0.13		192.29		21.52		10.78	
a49h	0.30		5.60		0.16		195.85		21.56		13.65	
a51h	0.30		5.40		0.02		190.41		20.74		13.23	
a1 rincage a	0.16		2.90		0.13		125.36		13.04		7.64	
a1 rincage b	0.20		3.50		0.07		147.51		15.61		6.20	
a2 rincage a	0.13		1.30		0.08		79.03		8.08		10.39	
a2 rincage b	0.04		1.30		0.07		75.51		8.07		5.15	
Totaux b	95.26	2.86	379.73	11.39	1909.00	57.27	7239.00	217.17	2032.00	60.96	17640.00	529.20
b0h	0.26	9.67	0.30	2.77	0.01	0.03	1138.07	550.25	46.69	80.42	0.73	
b6h	0.35	13.00	0.80	7.37	-0.01	-0.02	1132.65	547.63	52.25	89.99	-1.09	
b23h	0.57	20.82	2.00	18.43	0.09	0.16	505.92	244.61	67.98	117.10	0.43	
b30h	0.61	22.47	2.70	24.89	0.07	0.12	491.97	237.86	74.73	128.72	1.58	
b46h	0.68	24.91	2.60	23.96	0.11	0.20	482.54	233.31	71.58	123.28	0.40	
<b>décantation</b>												
<b>trait. au sel</b>												
<b>(0.5M)</b>												
b46h	0.26		5.80		0.14		246.30		28.48		-5.01	
b46.5h	0.21		5.60		0.08		209.04		23.08		0.64	
b47h	0.22		5.20		0.16		201.64		22.03		-0.88	
b47.5h	0.22		5.80		0.16		221.51		24.05		-1.03	
b48h	0.17		5.20		0.26		204.45		22.55		4.21	
b49h	0.21		5.40		0.16		216.91		23.41		6.42	
b51h	0.25		5.60		0.05		221.39		23.87		5.78	
b56h	0.25		6.00		0.01		229.64		24.69		7.90	
b67h	0.28		6.20		0.14		243.67		26.66		10.12	
b1 rincage a	0.13		2.50		0.06		128.76		13.50		12.36	
b1 rincage b	0.18		2.80		-0.00		145.70		15.41		12.79	
b2 rincage a	0.08		0.50		-0.02		51.58		4.84		12.16	
b2 rincage b	0.09		0.60		0.03		53.87		5.17		10.78	

Annexe 29a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel avec acidification des sédiments dès le départ (sed #3,#6,#11).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
			Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)
<b>Séd.#11</b>										
Totaux a			66108.3	1983.25	11153.04	334.59	4.26	0.13	193.25	5.80
a2.0	3.53	225.00	32.44	1.72	152.80	47.95	0.01	6.58	0.08	1.43
a2.6	3.67	203.00	40.19	2.13	148.31	46.54	0.03	26.55	0.04	0.71
a2.23	2.76	429.00	77.56	4.11	196.60	61.69	0.07	59.41	0.05	0.86
a2.30	2.71	562.00	86.40	4.57	218.05	68.43	0.07	59.72	0.05	0.87
a2.46	2.77	542.00	96.53	5.11	250.02	78.46	0.09	72.76	0.10	1.76
<b>décantation + trait. au sel (0.2M)</b>										
a46h	2.87	481.00	42.89		110.50		0.08		0.05	
a46.5h	2.81	478.00	35.88		101.30		0.05		-0.01	
a47h	2.84	475.00	34.16		98.77		0.05		0.02	
a47.5h	2.69	474.00	32.43		96.68		0.05		0.05	
a48h	2.78	475.00	33.76		100.56		0.03		0.01	
a49h	2.80	476.00	38.15		112.00		0.04		0.06	
a51h	2.73	479.00	37.57		112.46		0.04		0.03	
a56h	2.91	482.00	37.40		108.92		0.05		0.02	
a67h	2.76	488.00	46.03		124.76		0.06		0.02	
a1 rincage a	3.00	477.00	21.79		71.01		0.03		0.01	
a1 rincage b			21.50		68.84		0.04		-0.00	
a2 rincage a	3.14	462.00	7.02		32.93		0.01		0.02	
a2 rincage b			8.23		37.12		0.02		-0.01	
Totaux b			71518.4	2145.55	12647.85	379.44	5.64	0.17	194.37	5.83
b2.0	3.59	222.00	22.20	1.09	132.07	36.55	0.01	8.55	0.07	1.31
b2.6	3.54	212.00	40.85	2.00	142.71	39.49	0.06	36.25	0.01	0.25
b2.23	2.80	452.00	75.82	3.71	193.43	53.53	0.09	56.22	0.07	1.35
b2.30	2.79	568.00	78.54	3.84	189.79	52.52	0.09	55.28	0.09	1.60
b2.46	2.82	541.00	83.58	4.09	192.02	53.14	0.11	65.37	0.09	1.71
<b>décantation + trait. au sel (0.2M)</b>										
b46h	2.90	473.00	29.47		80.02		0.04		0.00	
b46.5h	2.82	473.00	33.75		90.50		0.04		0.06	
b47h	2.87	471.00	36.24		91.46		0.04		0.01	
b47.5h	2.78	470.00	35.84		93.28		0.05		0.04	
b48h	2.83	469.00	34.27		90.49		0.04		-0.03	
b49h	2.81	471.00	34.37		95.60		0.04		0.01	
b51h	2.81	471.00	33.71		94.39		0.05		0.02	
b56h	2.98	473.00	32.91		90.31		0.04		-0.02	
b67h	2.86	478.00	39.34		101.44		0.04		-0.01	
b1 rincage a	3.03	467.00	20.38		62.99		0.03		0.01	
b1 rincage b			21.55		65.39		0.03		-0.00	
b2 rincage a	3.21	467.00	6.95		31.81		0.02		-0.02	
b2 rincage b			8.08		34.68		0.02		-0.03	

## Annexe 29a:

Echantillon	Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576		Ni2316	
	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)
<b>Séd.#11</b>										
Totaux a	127.91	3.84	41610	1248.30	16448.29	493.45	394.79	11.84	87.23	2.62
a2.0	0.01	0.29	434.45	36.54	35.54	7.56	7.15	63.37	0.36	14.37
a2.6	0.19	5.17	363.19	30.55	35.87	7.63	7.05	62.49	0.40	15.95
a2.23	1.26	34.42	145.34	12.23	44.57	9.48	7.95	70.45	0.48	19.18
a2.30	1.64	44.78	51.77	4.35	48.02	10.22	8.24	73.02	0.58	23.28
a2.46	1.98	54.16	30.87	2.60	54.53	11.60	8.76	77.68	0.67	26.93
<b>décantation trait. au sel (0.2M)</b>										
a46h	0.90		17.71	3.08	21.13		3.12		0.34	
a46.5h	0.80		15.85	3.03	18.95		2.72		0.22	
a47h	0.79		14.83	3.00	18.33		2.64		0.27	
a47.5h	0.76		13.82	2.97	17.40		2.48		0.24	
a48h	0.77		14.25	2.99	17.63		2.52		0.22	
a49h	0.89		15.00	3.01	19.79		2.73		0.23	
a51h	0.96		12.69	2.94	20.86		2.81		0.38	
a56h	0.97		11.67	2.92	21.40		2.80		0.23	
a67h	1.22		11.47	2.91	25.15		3.12		0.35	
a1 rincage a	0.73		6.87	3.00	14.09		1.79		0.19	
a1 rincage b	0.68		6.59	2.99	14.04		1.73		0.16	
a2 rincage a	0.37		3.46	3.08	6.61		0.76		0.09	
a2 rincage b	0.41		4.09	3.10	7.19		0.90		0.10	
Totaux b	133.10	3.99	45305.42	1359.16	17827.07	534.81	437.52	13.13	93.02	2.79
b2.0	-0.01	-0.13	395.18	30.53	32.57	6.39	6.68	53.43	0.36	13.40
b2.6	0.26	6.84	277.38	21.43	35.22	6.91	7.00	56.01	0.41	15.50
b2.23	1.27	33.52	146.75	11.34	46.50	9.13	8.05	64.41	0.57	21.62
b2.30	1.49	39.16	28.10	2.17	46.61	9.15	7.49	59.90	0.56	21.01
b2.46	1.66	43.64	18.00	1.39	53.00	10.41	7.68	61.41	0.62	23.37
<b>décantation trait. au sel (0.2M)</b>										
b46h	0.71		10.62		17.43		2.54		0.25	
b46.5h	0.79		11.46		18.32		2.43		0.28	
b47h	0.72		12.15		17.10		2.41		0.23	
b47.5h	0.78		15.71		18.43		2.51		0.23	
b48h	0.73		12.97		18.46		2.38		0.24	
b49h	0.79		11.22		18.24		2.48		0.20	
b51h	0.83		11.20		18.63		2.47		0.23	
b56h	0.80		8.55		17.75		2.27		0.17	
b67h	1.01		7.73		20.37		2.56		0.25	
b1 rincage a	0.64		5.64		12.72		1.60		0.17	
b1 rincage b	0.67		5.80		13.59		1.71		0.17	
b2 rincage a	0.34		3.26		6.40		0.74		0.08	
b2 rincage b	0.37		3.73		7.00		0.85		0.09	



Annexe 29a:

Echantillon	Pb		P_1774		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	% Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Séd.#11</b>									
Totaux a	379.73	11.39	1675.92	50.28	6743.10	202.29	2236.00	67.08	17256.32
a2.0	0.20	1.84	-0.02	-0.04	1128.11	585.54	42.08	65.87	12.46
a2.6	0.60	5.53	-0.04	-0.09	1127.81	585.39	49.08	76.82	10.34
a2.23	2.10	19.36	0.11	0.23	492.70	255.74	67.07	104.98	13.98
a2.30	2.50	23.04	0.14	0.30	469.36	243.62	68.36	107.00	16.36
a2.46	2.50	23.04	0.15	0.32	523.48	271.71	74.11	116.01	17.40
<b>décantation trait. au sel (0.2M)</b>									
a46h	3.00		0.20		188.85		24.39		12.86
a46.5h	3.20		0.16		174.52		22.30		3.09
a47h	3.20		0.26		171.19		21.76		-0.44
a47.5h	3.00		0.16		165.51		21.04		-1.25
a48h	3.20		0.15		167.96		21.12		-8.28
a49h	3.40		0.15		185.39		23.07		-5.04
a51h	3.60		0.08		188.20		23.31		-9.93
a56h	3.60		0.09		187.70		23.60		-7.90
a67h	4.40		0.12		218.50		26.45		-3.79
a1 rincage a	2.10		0.00		129.47		15.28		-4.47
a1 rincage b	2.00		0.10		126.00		14.90		-4.41
a2 rincage a	0.70		-0.01		62.68		6.64		-4.00
a2 rincage b	0.90		0.06		72.61		7.79		-4.41
Totaux b	379.73	11.39	1781.16	53.43	7101.33	213.04	2236.17	67.09	14064.74
b2.0	0.00	0.00	-0.01	-0.01	1135.02	559.41	31.09	48.66	-4.20
b2.6	0.70	6.45	-0.00	-0.01	1126.11	555.02	49.66	77.73	-5.76
b2.23	2.00	18.43	0.07	0.14	517.89	255.25	67.20	105.18	-3.14
b2.30	2.00	18.43	0.11	0.22	416.66	205.36	62.97	98.55	0.74
b2.46	2.10	19.36	0.12	0.23	433.90	213.85	66.27	103.72	-3.34
<b>décantation trait. au sel (0.2M)</b>									
b46h	2.40		0.14		156.39		21.27		-7.73
b46.5h	3.00		0.02		153.04		20.53		-4.18
b47h	3.20		0.14		156.22		20.70		15.33
b47.5h	3.20		0.31		157.69		20.98		6.01
b48h	3.40		0.35		154.34		20.30		4.13
b49h	3.40		0.13		163.71		21.22		5.80
b51h	3.20		0.15		153.83		20.42		21.67
b56h	3.00		0.07		150.89		19.60		21.38
b67h	3.60		0.23		173.37		22.71		10.02
b1 rincage a	1.90		0.02		110.79		13.83		6.71
b1 rincage b	2.00		0.03		117.54		14.75		5.26
b2 rincage a	0.70		-0.00		59.15		6.84		4.41
b2 rincage b	0.80		0.07		65.09		7.64		5.46

## Annexe 29b:

Suivi des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification des sédiments au départ.

Echantillon	Pb		Cu		Ni		Cr	
Sédiment	Moyenne (mg/kg sédsec)		Moyenne (mg/kg sédsec)		Moyenne (mg/kg sédsec)		Moyenne (mg/kg sédsec)	
<b>Bru'</b>								
séd#6	466.24		480.53		36.03		192.19	
séd#3	90.16		405.72		157.78		159.58	
séd#11	379.73		132.20		78.99		200.438	
<b>Sédiments traités et filtrés</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>
<b>séd#6</b>		(%)		(%)		(%)		(%)
46h	310.85	33.33	340.10	29.22	29.26	18.80	186.51	2.96
46.5h	296.60	36.39	363.18	24.42	35.32	1.98	223.96	-16.53
48h	211.37	54.66	344.63	28.28	32.17	10.73	225.16	-17.15
1R	218.00	53.24	322.90	32.80	31.45	12.71	198.00	-3.02
2R	243.00	47.88	387.50	19.36	34.20	5.08	230.3	-19.83
<b>séd#3</b>								
46h	77.83	13.68	192.72	52.50	129.71	17.79	122.29	23.37
46.5h	76.48	15.17	181.64	55.23	143.4	9.11	148.18	7.15
48h	69.999	22.36	180.31	55.56	139.33	11.69	151.63	4.98
2R	53	41.22	156	61.55	124.45	21.12	126.77	20.56

## Annexe 29b

Echantillon	Cd	Zn	Mn	Fe				
Sédiment	Moyenne	moyenne	Moyenne	Moyenne				
Brut	(mg/kg sédsec)	(mg/kg sédsec)	(mg/kg sédsec)	(mg/kg sédsec)				
séd#6	38.53	10183	286.65	181697				
séd#3	4.5	952.99	642.84	48145				
séd#11	5.4	2070	436.5	45692				
Sédiments traités et filtrés	%d'enlèv	%d'enlèv	%d'enlèv	%d'enlèv				
	(%)	(%)	(%)	(%)				
séd#6								
46h	14.63	62.05	3328.24	67.32	233.24	18.63	163468	10.03
46.5h	12.11	68.58	2703.27	73.45	236.85	17.37	189216	-4.14
48h	0.00	100.00	2620.07	74.27	197.72	31.02	181686	0.01
1R	11.56	70.01	2556.00	74.90	212.50	25.87	177967	2.05
2R	12.58	67.36	2913.5	71.39	241.8	15.65	204865	-12.75
séd#3								
46h	0	100.00	391.35	58.93	453.24	29.49	57814	-20.08
46.5h	0	100.00	363.758	61.83	446.4996	30.54	65151	-35.32
48h	0	100.00	384.4334	59.66	452.41	29.62	65281	-35.59
2R	0	100.00	350	63.27	412.14	35.89	52000	-8.01

Annexe 29b: Suivi des métaux dans les essais de solubilisation des métaux  
à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation  
et d'un traitement au sel dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification  
des sédiments au départ.

Echantillon	Pb		Cu		Ni		Cr	
Sédiment	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)	
séd#11								
0.5M								
a.46h	214.656	43.47	67.08	49.26	62.61	20.73	183.35	8.53
a.46.5h	202.996	46.54	58.762	55.55	64.104	18.84	208.338	-3.94
a.48h	178.157	53.08	57.47	56.53	57.47	27.24	195.398	2.51
1R	198.68	47.68	58.4	55.82	60.56	23.33	166.99	16.69
2R	183.75	51.61	51.22	61.26	55.05	30.30	150.14	25.09
b.46h	291.258	23.30	61.78	53.27	61.78	21.78	185.346	7.53
b.46.5h	256.704	32.40	55	58.40	61.12	22.62	220.032	-9.78
b.48h	182.09	52.05	55.18	58.26	55.18	30.14	187.6	6.40
1R	203	46.54	64.26	51.39	65.35	17.26	179.6	10.40
2R	174	54.18	61.4	53.56	65.3	17.33	177.398	11.49
0.2M								
a.46h	276.5	27.19	66.37	49.80	66.37	15.97	180.66	9.87
a.46.5h	183.49	51.68	57.34	56.63	51.606	34.66	200.69	-0.13
a.48h	272.27	28.30	105.196	20.43	74.256	5.99	228.956	-14.23
1R	218.2	42.54	56.6	57.19	58.98	25.33	163.08	18.64
2R	226.71	40.30	54.53	58.75	59.41	24.78	163.59	18.38
b.46h	316.57	16.63	65.32	50.59	60.3	23.66	195.97	2.23
b.46.5h	260.4	31.42	65.1	50.76	52.08	34.06	214.83	-7.18
b.48h	229.748	39.50	78.598	40.55	60.46	23.45	205.564	-2.56
1R	200.5	47.20	53.39	59.61	55.47	29.77	141.98	29.17
2R	244.35	35.65	57.28	56.67	58.74	25.63	154.44	22.95

## Annexe 29b:

Echantillon	Cd		Zn		Mn		Fe	
Sédiment	Moyenne		moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)	
séd#11								
0.5M								
a.46h	0	100.00	540.21	73.90	361.82	17.18	64531	-41.23
a.46.5h	0	100.00	533.36	74.23	340.65	22.03	67897	-48.60
a.48h	0	100.00	432.04	79.13	314.82	27.94	61435	-34.46
1R	0	100.00	418.78	79.77	351.5	19.54	66976	-46.58
2R	0	100.00	370.67	82.09	308.19	29.46	57228	-25.25
b.46h	0	100.00	511.46	75.29	358.02	18.05	64253	-40.62
b.46.5h	0	100.00	432.79	79.09	350.46	19.78	69677	-52.49
b.48h	0	100.00	389.019	81.21	325.17	25.57	62684	-37.19
1R	0	100.00	406.91	80.34	344.11	21.24	66323	-45.15
2R	0	100.00	382.5	81.52	341	21.95	65068	-42.41
0.2M								
a.46h	0	100.00	518.02	74.97	359.85	17.63	65739	-43.87
a.46.5h	0	100.00	386.52	81.33	319.49	26.87	62214	-36.16
a.48h	0	100.00	488.29	76.41	381.38	12.71	78030	-70.77
1R	0	100.00	398.8	80.73	345	21.03	68845	-50.67
2R	0	100.00	407.5	80.31	360	17.60	71367	-56.19
b.46h	0	100.00	564.81	72.71	367.07	15.98	5339	88.32
b.46.5h	0	100.00	469.04	77.34	348.41	20.25	3551	92.23
b.48h	0	100.00	460.1	77.77	342.0222	21.71	3856	91.56
1R	0	100.00	388.9	81.21	324.5	25.73	62919	-37.70
2R	0	100.00	428.9	79.28	344.9	21.06	67071	-46.79

Annexe 29c:

Suivi de l'As et du Hg dans  
les essais de solubilisation des métaux  
à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
suivi d'une décantation et d'un traitement au sel  
dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification  
des sédiments dès le départ.

Echantillon	As			Hg
	Moyenne (mg/kg sed sec)			Moyenne (mg/kg sed sec)
<b>sédiment brut</b>				
séd #6	43.25			15.80
séd #3	17.00			0.26
séd #11	17.00			2.32
<b>sédiments traités et filtrés</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>
		(%)		(%)
<b>séd #6</b>				
0h	32.00	26.01	19.00	-20.25
fin du traitement	0.01	99.98	0.00	99.99
<b>séd #3</b>				
0h	3.50	79.41	0.29	-13.28
fin du traitement	12.00	29.41	0.53	-107.03
<b>séd #11 (0.2MNaCl)</b>				
a0h	0.01	99.97	0.00	99.87
b0h	14.00	17.65	1.80	22.41
a.fin du traitement	17.00	0.00	2.50	-7.76
b.fin du traitement	10.00	41.18	2.90	-25.00

Annexe 29d:

Evaluation des solides totaux et volatils en suspension  
(MES, MVS) dans le surnageant des décantations faites dans les essais  
de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  
FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel  
dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ.

Echantillon	MES (mg sol.susp.tot./L)	MVS (mg sol.vol./L)
<b>Après traitement biologique</b>		
Séd#3	0.08	0.01
Séd#6	0.19	0.06
Séd#11a(.5MNaCl)	0.07	0.01
Séd#11b(.5MNaCl)	0.07	0.01
Séd#11a(.2MNaCl)	0.06	0.01
Séd#11b(.2MNaCl)	0.06	-
<b>Après traitement au sel</b>		
Séd#3	0.14	0.01
Séd#6	0.08	0.02
Séd#11a(.5MNaCl)	0.16	0.03
Séd#11b(.5MNaCl)	0.06	0.02
Séd#11a(.2MNaCl)	0.05	-
Séd#11b(.2MNaCl)	0.06	-
<b>Après 1 rinçage</b>		
Séd#3	1.47	0.14
Séd#6	0.04	0.01
Séd#11a(.5MNaCl)	0.125	0.03
Séd#11b(.5MNaCl)	0.066	0.01
Séd#11a(.2MNaCl)	0.26	0.06
Séd#11b(.2MNaCl)	0.11	0.014

Annexe 29e: Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel les sédiments #3, #6, #11 avec acidification au départ des sédiments.

Echantillon	Début (% SV)	Fin (% SV)
Séd#6	15.24	12.64
Séd#11	15.7	19.99



Annexe 29fi)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification des sédiments au départ.

## I-Métaux totaux

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed3-0h*	3.03	114.44	458.62	42904	950.35	159.31	89.30	1195.00
sed3-fin*	0.55	107.81	153.00	47266	320.60	116.60	57.50	305.90
sed6-0h+c*	45.22	173.31	532.80	135314	243.00	42.00	471.80	9412.00
sed6-0h	45.96	83.58	551.43	135252	258.80	42.80	479.00	9716.60
sed6-fin*	13.46	186.22	356.02	138967	200.00	33.40	241.00	2628.00
sed11A.5-0h*	3.83	170.02	125.48	38785	488.00	78.80	378.00	2478.00
sed11A.5-fin*	0.81	173.98	62.47	57478	296.00	60.50	198.00	377.00

\* + chaux  
(0.05 g/g séd sec)

Annexe 29fii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ.

**II-Fraction NaOAc** : incluant  $\text{MgCl}_2$ , fraction échangeable + métaux liés aux carbonates

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed3-0h*	3.00	2.14	75.96	1785	384.90	13.11	26.78	502.97
sed3-fin*	0.11	2.01	12.23	1990	6.39	2.37	12.96	18.26
sed6-0h+c*	0.17	14.01	0.52	2637	39.45	5.09	81.70	684.11
sed6-0h	0.14	16.08	0.62	2617	41.05	4.93	69.06	616.75
sed6-fin*	0.57	24.72	20.77	2918	3.04	1.42	77.91	92.19
sed11A.5-0h*	0.45	7.22	0.19	1425	136.97	5.55	158.26	935.68
sed11A.5-0h*	0.10	8.98	3.15	1720	4.78	1.62	48.54	39.18

\*+ chaux

(0.05 g/g séd.sec)

Annexe 29fiii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ.

### III-Fraction 3b : métaux liés aux hydroxydes de Fe et Mn.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed3-0h*	2.47	8.02	8.66	8571	211.12	47.50	41.80	472.91
sed3-fin*	0.15	8.47	9.11	14150	46.60	29.44	20.55	97.44
sed6-0h*	28.19	73.81	2.81	12431	34.53	8.20	264.38	5645.85
sed6-0h	28.16	39.00	2.81	11853	34.61	8.22	273.17	5986.91
sed6-fin*	0.52	64.29	4.75	16871	12.94	3.88	76.16	345.18
sed11A.5-0h*	2.72	34.53	3.79	7412	92.65	13.69	145.93	1301.32
sed11A.5-fin*	0.30	35.61	3.82	21240	33.92	5.30	62.11	165.34

\*+ chaud

(0.05 g/g séd. sec)

Annexe 29 fiv)

:Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3,#6,#11 avec acidification des sédiments au départ.

IV-Fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : métaux liés à la matière organique et aux sulfures.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed3-0h*	0.56	12.80	310.00	598	16.80	18.20	6.20	108.20
sed3-fin*	0.14	11.80	98.00	1176	14.20	13.80	4.00	43.40
sed6-0h+c*	8.16	18.00	344.00	1146	4.00	5.20	46.20	1864.00
sed6-0h	8.86	11.52	350.00	982	3.20	5.20	49.80	1964.00
sed6-fin*	2.98	21.20	148.00	1628	4.60	3.60	16.20	976.00
sed11A.5-0h*	0.66	22.80	90.00	2248	18.80	9.60	32.20	142.60
sed11A.5-0h*	0.16	19.40	28.00	2568	17.40	6.60	19.00	57.00

\*+ chaux  
(0.05 g/g séd. sec)

Annexe 29 fv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ.

## V-Fraction HF

:fraction résiduelle.

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
sed3-0h*	0.00	91.50	64.00	31950	337.50	80.50	14.50	111.45
sed3-fin*	0.15	85.50	34.00	29950	300.00	71.00	20.00	146.75
sed6-0h+c*	8.70	67.50	185.50	119100	165.00	23.50	79.50	1218.00
sed6-0h	8.80	17.04	198.00	119800	180.00	24.50	87.00	1149.00
sed6-fin*	9.40	76.00	182.50	117550	180.00	24.50	71.00	1215.00
sed11A.5-0h*	0.00	105.50	31.50	27700	240.00	50.00	42.00	98.85
sed11A.5-0h*	0.25	110.00	27.50	31950	240.00	47.00	61.50	117.40

\*+ chaux

(0.05 g/g séd. sec)

Annexe 29g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #3, #6, #11 avec acidification des sédiments au départ.

		Concentration de $\text{Mz}^+$ (nmole/L)				
		Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
séd.#3	avant trait.		5.93	5.84	0.11	8.06
	après trait.		3.81	2.19	0.033	1.06
séd.#6	avant trait.*	122	0.87	0.35	0.27	30.7
	avant trait.**	114.6	0.92	0.36	0.29	34.1
	après trait.	34.2	1.09	0.12	0.057	1.38
séd.#11	avant trait.		3.34	15.4	0.45	31.2
	après trait.		1.17	2.08	0.067	1.38

\*avec chaux

\*\*sans chaux

et pour déterminer  $\text{Mz}^+$  les constantes employées sont

Cd	$x=0.82$	$y=0.96$	$(\text{Nom} \cdot \text{Kom} - \text{Cd}) = 10 - 1.22$ et $(\text{NFe} \cdot \text{KFe} - \text{Cd}) = 10 - 2.38$
Zn	$x=1.26$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10 - 2.38$
Ni	$x=1.04$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10 - 2.29$
Pb	$x=0.81$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10 + .67$
Cu	$x=0.64$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10 + .10$

Annexe 30a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel sans acidification des sédiments au départ (séd#11).

Echantillon	pH	POR Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
		Moyenne (mV)	Sol. (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Série#1</b>									
Totaux		62460.0	1873.80	11473.0	344.19	4.26	0.13	178.66	5.36
0h	3.47	289.00	18.63	1.04	104.30	31.82	0.01	11.34	2.63
7h	3.02	374.00	34.36	1.93	128.50	39.20	0.05	38.70	18.81
24h	2.67	431.00	58.09	3.26	156.20	47.65	0.57	467.49	2.06
31h	2.74	449.00	66.15	3.71	169.00	51.56	0.08	61.95	2.58
48h	2.45	470.00	81.04	4.54	170.40	51.98	0.10	79.78	5.12
<b>décantation + trait. au sel (0.5M)</b>									
48h	2.60	470.00	21.77		85.54		0.03		0.06
48.5h	2.48	510.00	21.97		110.70		0.03		0.06
49h	2.53	505.00	21.72		118.10		0.03		0.06
50h	2.51	500.00	22.61		131.20		0.03		0.06
1 rincage a			5.45		54.02		0.02		0.03
1 rincage b			5.97		59.04		0.02		0.01

Annexe 30a:

Echantillon	Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576		Ni2316	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>Série#1</b>										
Totaux	127.00	3.81	56868.0	1706.04	16335.3	490.06	407.08	12.21	84.35	2.53
0h	0.04	1.19	727.90	44.80	22.25	4.77	8.58	73.76	0.39	16.11
7h	0.41	11.33	539.00	33.17	29.59	6.34	9.50	81.64	0.47	19.67
24h	0.99	27.31	261.30	16.08	42.28	9.06	9.90	85.14	0.61	25.23
31h	1.16	32.05	185.80	11.44	47.62	10.20	10.03	86.24	0.64	26.72
48h	1.62	44.51	624.40	38.43	48.66	10.43	13.08	112.46	0.87	36.25
<b>décantation + trait. au sel (0.5M)</b>										
48h	0.51		121.10		13.14		2.85		0.19	
48.5h	0.62		121.10		14.01		2.83		0.17	
49h	0.67		118.10		14.94		2.83		0.17	
50h	0.72		114.00		16.79		2.90		0.16	
1 rincage a	0.32		36.20		8.81		0.96		0.07	
1 rincage b	0.33		39.21		9.46		1.02		0.07	



Annexe 30a:

Echantillon	Pb		P_1774		S_1807		Zn2138		C_1930
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)
<b>Série#1</b>									
Totaux	374.38	11.2	1745.8	52.4	7658.2	229.7	1831.1	54.9	15870.0
0h	0.10	0.93	0.00	0.00	559.80	255.84	23.98	45.84	14.08
7h	0.70	6.54	0.00	0.00	538.80	246.25	50.33	96.20	0.00
24h	1.70	15.89	0.01	0.01	501.00	228.97	59.41	113.56	0.00
31h	1.90	17.76	0.07	0.14	498.60	227.87	64.38	123.06	0.00
48h	2.20	20.57	0.54	1.08	872.70	398.85	67.69	129.38	0.00
<b>décantation + trait. au sel (0.5M)</b>									
48h	2.60		0.00		206.40		13.63		0.00
48.5h	3.00		0.00		220.00		13.86		0.00
49h	3.20		0.00		219.40		13.58		0.00
50h	3.10		0.01		223.40		13.77		0.00
1 rincage a	0.90		0.00		80.79		4.91		0.00
1 rincage b	1.00		0.01		86.41		5.27		0.00

## Annexe 30a:

Echantillon	pH	POR (mV)
<b>Contrôle stérile a</b>		
0h	4.30	149.00
7h	4.45	180.00
24h	4.33	206.00
32h	4.18	230.00
48h	4.05	211.00
<b>Contrôle stérile b</b>		
0h	4.55	126.00
7h	4.38	185.00
24h	4.25	208.00
32h	4.21	219.00
48h	3.98	214.00
<b>Contrôle non-stérile</b>		
0h	5.38	109.00
7h	3.78	262.00
24h	3.23	347.00
32h	3.15	336.00
48h	3.08	349.00

Annexe 30a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel sans acidification des sédiments au départ (séd#11).

	pH	POR (mV)	Cd2288		Cr2677		Cu3247		Fe2395	
			Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>0% d'inocul</b>										
<b>+10%FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O</b>										
Totaux			0.00	0.00	169.76	5.09	110.34	3.31	87511.28	2625.34
2h	3.76	256.00	0.02	0.00	0.05	0.93	0.04	1.30	581.29	23.25
5h	3.53	295.00	0.04	0.00	0.04	0.78	0.15	4.83	500.03	20.00
22h	3.50	296.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.38	12.12	317.28	12.69
29h	3.46	296.00	0.07	0.00	0.01	0.23	0.49	15.46	270.13	10.80
48h	3.42	316.00	0.08	0.00	0.01	0.28	0.68	21.52	217.93	8.72
72h	3.12	359.00	0.09	0.00	0.02	0.37	1.24	39.49	184.21	7.37
<b>20% inocul.</b>										
<b>+10%FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O</b>										
Totaux			6.46	0.19	142.12	4.26	116.28	3.49	76099.00	2282.97
2h	3.59	295.00	0.05	25.85	0.02	0.55	0.18	5.45	455.74	20.96
5h	3.50	310.00	0.05	27.83	0.02	0.55	0.33	10.01	461.68	21.23
22h	3.15	360.00	0.08	45.29	0.03	0.83	0.89	26.87	251.06	11.55
29h	3.07	377.00	0.10	54.07	0.04	0.91	1.18	35.44	199.42	9.17
48h	2.88	467.00	0.11	59.01	0.03	0.80	1.73	52.05	36.54	1.68

Annexe 30a:

	Mn2576		Ni2316		Pb		Zn2138	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>0% d'inocul</b>								
<b>+10%FeSO4.7H2O</b>								
Totaux	822.48	24.67	67.90	2.04	348.01	10.44	3244.96	97.35
2h	7.41	31.51	0.33	17.04	0.40	4.02	30.37	32.76
5h	7.58	32.27	0.38	19.41	0.50	5.03	36.55	39.42
22h	8.32	35.41	0.42	21.41	0.70	7.04	47.39	51.11
29h	8.15	34.68	0.43	21.91	0.80	8.05	46.80	50.48
48h	8.59	36.55	0.49	25.30	0.80	8.05	50.86	54.86
72h	9.82	41.80	0.63	32.71	1.30	13.07	58.46	63.05
<b>20% inocul.</b>								
<b>+10%FeSO4.7H2O</b>								
Totaux	717.71	21.53	77.52	2.33	348.84	10.47	2908.94	87.27
2h	7.47	36.45	0.39	17.76	0.60	6.02	39.57	47.61
5h	8.65	42.18	0.53	24.08	0.80	8.03	48.55	58.41
22h	8.98	43.79	0.52	23.32	1.30	13.04	56.39	67.85
29h	9.62	46.93	0.67	30.13	1.80	18.06	61.06	73.47
48h	9.76	47.62	0.73	33.10	2.10	21.07	63.58	76.50

Annexe 30b: Suivi des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

Echantillon	Pb Moyenne (mg/kg sédsec)	Cu Moyenne (mg/kg sédsec)	Ni Moyenne (mg/kg sédsec)	Cr Moyenne (mg/kg sédsec)
Sédiment Brut				
Série #1 sed#11	374.38	123.21	71.08	170.60
Sédiments traités et filtrés	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)
48h	267.36	53.47	57.93	164.87
50h	178.89	45.87	59.63	160.55
a.R	174.08	44.10	60.35	150.87
b.R	176.53	44.13	64.90	155.76
Sédiment Brut				
Série #2				
sed#11a	348.01	110.34	67.90	169.76
sed#11b	348.84	116.28	77.52	142.12
Sédiments traités et filtrés	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)
0% FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O + trait au sel				
51h	254.51	41.05	53.36	172.41
10% FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O + trait au sel				
72.25h	274.48	46.29	56.22	181.87

Annexe 30b:

Echantillon	Zn Moyenne (mg/kg sédsec)	Mn moyenne (mg/kg sédsec)	Fe Moyenne (mg/kg sédsec)			
Sédiment Brut Série #1 sed #11	1949.62	436.69	60137.91			
Sédiments traités et filtrés	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)			
48h	584.18	70.04	381.86	12.56	97096.00	-61.46
50h	453.33	76.75	367.69	15.80	94400.46	-56.97
a.R	424.04	78.25	343.51	21.34	84252.00	-40.10
b.R	416.14	78.66	345.00	21.00	83175.00	-38.31
Sédiment Brut Série #2 sed#11a sed#11b	3244.92 2908.93	822.48 717.71	87511.28 76098.80			
Sédiments traités et filtrés	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)			
0% FeSO4.7H2O + trait au sel 51h	354.75	89.07	320.23	61.07	76763.50	12.28
10% FeSO4.7H2O + trait au sel 72.25h	407.75	85.98	344.92	51.94	80227.82	-5.43

## Annexe 30c:

Suivi de l'As et du Hg dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au sel sans acidification des sédiments au départ.

Echantillon	As			Hg
	Moyenne (mg/kg sed sec)			Moyenne (mg/kg sed sec)
<b>sédiment brut</b>				
séd #11	17.00			2.32
<b>sédiments traités et filtrés</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>
		(%)		(%)
séd #11				
0h	0.04	99.76		0.06
fin du traitement	12.00	29.41		2.40
				97.41
				-3.45

Annexe 30d: Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MES, MVS) dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

Echantillon	MES (mg sol.susp.tot./L)	MVS (mg sol.vol./L)
Après traitement biologique Séd#11A	0.09	0.01
Après traitement au sel Séd#11A	0.07	0.01



**Annexe 30e:** Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au sel sans acidification des sédiments au départ.

\*Données non-disponibles



Annexe30fi)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

**II-Fraction NaOAc:** (fraction échangeable + métaux liés aux carbonates)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	2.046	7.52	9.23	1361	35.2	4.28	155.1	892.4
séd11-fin*	0.077	6.05	1.25	2535	5.8	1.63	25.0	27.8

\*+ chaux  
(0.05g chaux/g séd. sec)

Annexe30fiii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

### III-Fraction 3b: (métaux liés aux hydroxydes de Fe et Mn)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	1.44	43.0	4.24	17673	67.8	10.6	119.7	690.8
séd11-fin*	0.17	41.0	3.61	38546	42.5	5.3	35.1	182.7

\*+chaux  
(0.05g/g séd. sec)



Annexe30fv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

V-Fraction HF:

(fraction résiduelle)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	0.05	112.0	32.5	30100	247.5	47.5	83.5	96.2
séd11-fin*	0.05	97.5	20.0	31750	232.5	44.5	100.5	87.5

\*+chaux  
(0.05g/g séd.sec)

Annexe 30g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

Concentration de  $\text{Mz}^+$  (nmole/L)

		Cu	Ni	Pb	Zn
séd.#11	avant trait.	1.57	5.01	0.15	6.96
	après trait.	0.61	1.15	0.021	0.84

et pour déterminer  $\text{Mz}^+$  les constantes employées sont

Cd	$x=0.82$	$y=0.96$	$(\text{Nom} \cdot \text{Kom} - \text{Cd}) = 10^{-1.22}$ et $(\text{NFe} \cdot \text{KFe} - \text{Cd}) = 10^{-2.38}$
Zn	$x=1.26$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{-2.38}$
Ni	$x=1.04$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{-2.29}$
Pb	$x=0.81$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{+.67}$
Cu	$x=0.64$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{+.10}$

Annexe 31a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au FeCl<sub>3</sub> sans acidification des sédiments au départ (séd#11).

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		Ca3158		Cd2288		Cr2677	
			Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>Séd#11</b>										
<b>Série#1</b>										
Totaux			62460.00	1873.80	11473.00	344.19	4.26	0.13	178.66	5.36
0h	3.59	276.00	12.59	0.68	97.65	28.24	0.01	7.23	0.23	4.56
7h	2.98	384.00	33.31	1.79	115.80	33.49	0.04	34.00	0.12	2.42
24h	2.67	445.00	52.30	2.82	140.70	40.69	0.06	46.54	0.10	2.05
31h	2.72	468.00	59.57	3.21	148.80	43.03	0.07	54.38	0.10	1.93
48h	2.45	476.00	75.47	4.06	165.60	47.89	0.08	61.15	0.19	3.77
<b>décantation +</b>										
<b>0.08 mL FeCl<sub>3</sub></b>										
48h	2.33	570.00	14.41		27.13		0.02		0.21	
48.5h	2.24	561.00	15.12		27.74		0.02		0.21	
49h	2.27	506.00	15.74		28.89		0.02		0.20	
50h	2.26	549.00	17.32		30.82		0.02		0.23	
1 rincage a			5.98		12.55		0.00		0.08	
1 rincage b			6.18		13.06		0.01		0.05	



Annexe 31a:

Echantillon	Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576		Ni2316	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>Séd#11</b>										
<b>Série#1</b>										
Totaux	127.00	3.81	56868.00	1706.04	16335.33	490.06	407.08	12.21	84.35	2.53
0h	0.03	0.72	673.20	40.89	20.12	4.25	7.87	67.00	0.33	13.01
7h	0.42	11.29	415.70	25.25	26.58	5.61	8.30	70.69	0.40	15.63
24h	0.95	25.73	183.10	11.12	37.48	7.91	8.63	73.46	0.50	19.54
31h	1.11	29.99	127.30	7.73	40.46	8.54	8.77	74.64	0.52	20.36
48h	1.57	42.33	545.60	33.14	46.93	9.90	12.29	104.66	0.85	33.31
<b>décantation +</b>										
<b>0.08 mL FeCl3</b>										
48h	0.37		381.60		7.30		2.97		0.17	
48.5h	0.45		358.70		7.55		2.94		0.16	
49h	0.48		355.00		7.78		2.97		0.15	
50h	0.55		358.60		8.51		3.08		0.19	
1 rincage a	0.25		102.50		3.06		1.02		0.08	
1 rincage b	0.25		106.30		3.25		1.06		0.07	

Annexe 31a:

Echantillon	Pb		P_1774		S_1807		Zn2138		C_1930	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	
<b>Séd#11</b>										
<b>Série#1</b>										
Totaux	374.38	11.2	1745.8	52.4	7658.2	229.7	1831.1	54.9	15870.0	
0h	0.00	0.00	0	0.00	485.7	221.74	22.07	40.42	0	
7h	1.00	9.05	0	0.00	440.8	201.24	44.47	81.45	0	
24h	1.60	14.48	0.0305	0.02	411.9	188.05	51.58	94.47	0	
31h	1.80	16.29	0	0.00	411.5	187.86	55.13	100.98	0	
48h	2.20	19.91	0.4704	0.29	771.2	352.08	62.69	114.82	0	
<b>décantation + 0.08 mL FeCl3</b>										
48h	1.30		0.1066		112.2		9.387		0	
48.5h	1.60		0.0466		110.9		9.534		0	
49h	1.60		0.0968		111.1		9.702		0	
50h	1.70		0.0968		116.4		10.34		0	
1 rincage a	0.60		0.0009		43.5		3.563		0	
1 rincage b	0.70		0		45.75		3.768		0	

Annexe 31a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au FeCl<sub>3</sub> sans acidification des sédiments au départ (séd#11).

## Série#2

Echantillon	pH	POR (mV)	Cd2288		Cr2677		Cu3247		Fe2395	
			Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>20% inocul.</b>										
Totaux			6.46	0.19	142.12	4.26	116.28	3.49	76099.00	2282.97
2h	3.59	295.00	0.05	25.85	0.02	0.55	0.18	5.45	455.74	20.96
5h	3.50	310.00	0.05	27.83	0.02	0.55	0.33	10.01	461.68	21.23
22h	3.15	360.00	0.08	45.29	0.03	0.83	0.89	26.87	251.06	11.55
29h	3.07	377.00	0.10	54.07	0.04	0.91	1.18	35.44	199.42	9.17
48h	2.88	467.00	0.11	59.01	0.03	0.80	1.73	52.05	36.54	1.68
<b>+20%FeSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O</b>										
<b>0.082mLFeCl<sub>3</sub></b>										
49h	2.88	510.00								
53h	2.79	375.00								
<b>+ .041mL FeCl<sub>3</sub></b>										
72h	2.38	486.00	0.14		0.22		2.93		392.40	
72.25h	2.19	563.00	0.11		0.30		1.99		456.72	
72.5h	2.19	563.00	0.07		0.29		1.79		447.08	
92h	2.07	599.00	0.08		0.46		2.19		431.53	

Annexe 31a:

## Série#2

Echantillon	Mn2576		Ni2316		Pb		Zn2138	
	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	Sol. (%)
<b>20% inocul.</b>								
Totaux	717.71	21.53	77.52	2.33	348.84	10.47	2908.94	87.27
2h	7.47	36.45	0.39	17.76	0.60	6.02	39.57	47.61
5h	8.65	42.18	0.53	24.08	0.80	8.03	48.55	58.41
22h	8.98	43.79	0.52	23.32	1.30	13.04	56.39	67.85
29h	9.62	46.93	0.67	30.13	1.80	18.06	61.06	73.47
48h	9.76	47.62	0.73	33.10	2.10	21.07	63.58	76.50

+20%FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O0.082mLFeCl<sub>3</sub>

49h

53h

+.041mL FeCl<sub>3</sub>

72h	11.60	1.06	3.30	77.48
72.25h	6.65	0.41	21.30	42.43
72.5h	6.54	0.36	6.10	36.25
92h	7.38	0.63	3.50	40.12

Annexe 31b: Suivi des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

Echantillon	Pb	Cu		Ni		Cr		Zn		Mn		Fe		
	Moyenne	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne		moyenne		Moyenne		
Sédiment	(mg/kg sédsec)	(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		
<b>Brut</b>														
Séd#11	386.73	128.91		60.66		174.41		2021.62		437.46		60565.00		
<b>Sédiments traités et filtrés</b>		%d'enlèv	%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv	
		(%)	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
48h	288.45	25.41	51.28	60.22	51.28	15.46	173.07	0.77	582.80	71.17	384.85	12.03	100124.0	-65.32
48.5h	205.32	46.91	46.20	64.16	56.46	6.92	164.26	5.82	459.56	77.27	371.42	15.10	98348.3	-62.38
51h	199.58	48.39	47.27	63.33	63.02	-3.90	162.81	6.65	474.89	76.51	375.78	14.10	103832.0	-71.44
a.R	210.28	45.63	41.54	67.78	70.09	-15.55	168.74	3.25	422.11	79.12	343.97	21.37	88471.6	-46.08
b.R	185.43	52.05	39.23	69.57	74.89	-23.45	167.60	3.90	453.24	77.58	366.94	16.12	98671.2	-62.91

## Annexe 31c:

Suivi de l'As et du Hg dans  
 les essais de solubilisation des métaux  
 à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
 suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$   
 dans les sédiments #11 sans acidification  
 des sédiments au départ.

Echantillon	As			Hg
	Moyenne (mg/kg sed sec)			Moyenne (mg/kg sed sec)
sédiment brut sed #11	17.00			2.32
sédiments traités et filtrés séd #11		%d'enlèv (%)	%d'enlèv (%)	
0h	11.00	35.29		2.90
fin du traitement	13.00	23.53		2.20
				-25.00
				5.17

Annexe 31d: Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MES, MVS) dans le surnageant des décantations faites dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

Echantillon	MES (mg sol.susp.tot./L)	MVS (mg sol.vol./L)
Après traitement biologique Séd#11A	0.009	0.01
Après traitement au FeCl <sub>3</sub> Séd#11A	0.003	0.01

Annexe 31e: Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dans les sédiments #11 suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_2$  sans acidification des sédiments au départ.

Echantillon	Début (% SV)	Fin (% SV)
Séd#11	15.34	20.82



Annexe31fi) Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

## I-Métaux totaux

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	3.870	168.67	124.90	47535	359.5	70.00	361.5	1778.0
séd11-fin*	1.228	164.36	47.20	87357	318.0	54.00	200.0	387.5

\* +chaux  
(0.05g/gséd.sec)

Annexe31fii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

## II-Fraction NaOAc:

(fraction échangeable + métaux liés aux carbonates)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	2.004	7.47	8.23	1305	36.9	4.54	158.8	945.5
séd11-fin*	0.088	6.76	0.78	3293	7.8	1.86	35.5	30.4
Mess-1	0.487	0.76	1.09	42	21.8	0.25	7.1	57.1
Lim. de détection	0.036	0.13	0.03			0.18	0.4	0.0

\*+chaux  
(0.05g/g séd.sec)

Annexe31fiii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O suivi d'une décantation et d'un traitement au FeCl<sub>3</sub> dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

### III-Fraction 3b (métaux liés aux hydroxydes de Fe et Mn)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd#11-0h*	1.51	38.0	4.67	15614	63.6	10.2	109.9	640.7
séd#11-fin*	0.19	44.0	3.43	46918	42.9	5.4	52.2	201.8
Mess-1	0.04	3.7	0.62	2996	49.9	2.7	10.8	49.9
Lim. de détection *chaux (0.05g/g séd.sec)	0.06	0.2	0.03			0.4	0.2	

Annexe31fiv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

#### IV-Fraction $\text{H}_2\text{O}_2$ : (métaux liés à la matière organique et aux sulfures)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	0.36	20.2	82	2566	19.0	8.20	17.8	98.6
séd11-fin*	0.32	12.6	24	4346	19.8	6.20	5.8	61.0
Mess-1	0.00	5.6	14	2984	39.6	1.80	0.4	31.8
Lim. de détection *chaux (0.05g/gséd.sec)	0.06	0.3	0		0.0	0.40	0.4	0.0

Annexe31fv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au  $\text{FeCl}_3$  dans les sédiments #11 sans acidification des sédiments au départ.

### V-Fraction HF: (fraction résiduelle)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd11-0h*	0.00	103.0	30.0	28050	240.0	47.0	75.0	93.1
séd11-fin*	0.65	101.0	19.0	32800	247.5	46.0	106.5	94.3
Mess-1	0.00	48.0	8.5	20350	330.0	17.5	13.5	43.3
Lim. de détection *chaux (0.05g/g séd.sec)	0.10	0.7	0.0		0.0	1.0	1.0	0.0

Annexe 31g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  suivi d'une décantation et d'un traitement au sel dans les sédiments #11 avec acidification des sédiments au départ.

Concentration de  $\text{Mz}^+$  (nmole/L)

		Cu	Ni	Pb	Zn
séd.#11	avant trait.	1.96	5.45	0.16	7.29
	après trait.	0.48	0.96	0.026	0.76

et pour déterminer  $\text{Mz}^+$  les constantes employées sont

Cd	$x=0.82$	$y=0.96$	$(\text{Nom} \cdot \text{Kom} - \text{Cd}) = 10^{-1.22}$ et $(\text{NFe} \cdot \text{KFe} - \text{Cd}) = 10^{-2.38}$
Zn	$x=1.26$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{-2.38}$
Ni	$x=1.04$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{-2.29}$
Pb	$x=0.81$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{+.67}$
Cu	$x=0.64$		$(\text{NFe} \cdot \text{Km}) = 10^{+.10}$

Annexe 32a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11 suivi d'une décantation et acidification.

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		As1890		Ca3158		Cd2288	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#6</b>										
Totaux a			2554.00		0.00	0.00	434.90		1.75	
a24h	3.43	259	458.70	18.86	0.00	0.00	295.50	71.34	1.18	70.68
a34h	2.99	319	576.90	23.72	0.00	0.00	302.30	72.99	1.38	82.66
a49h	2.81	387	602.00	24.75	0.00	0.00	258.60	62.44	1.14	68.40
a54h	2.85	468	725.40	29.82	0.02	0.00	299.00	72.19	1.39	83.08
a71h	2.99	495	775.90	31.90	0.01	0.00	309.50	74.72	1.44	86.31
a74h*	1.6	508	378.00	33.63	0.00	0.00	134.10	74.75	0.61	85.44
a79h*	1.76	569	565.80	41.35	0.00	0.00	138.80	75.89	0.66	88.72
a95h*	1.98	538	664.70	45.42	0.00	0.00	139.30	76.01	0.66	88.53
Totaux b			2518.00		0.00		429.60		1.69	
b0h	3.58	260	365.00	15.22	0.00	0.00	263.30	64.35	0.04	2.36
b24h	3.4	331	415.80	17.34	0.00	0.00	268.30	65.58	1.07	66.05
b34h	2.97	396	544.00	22.68	0.00	0.00	286.20	69.95	1.25	77.28
b49h	2.89	476	538.30	22.45	0.00	0.00	234.50	57.31	1.05	65.12
b54h	2.91	500	660.10	27.53	0.02	0.00	282.40	69.02	1.28	79.14
b71h	3.06	514	696.70	29.05	0.00	0.00	292.20	71.42	1.30	80.87
b74h*	1.63	574	354.20	31.62	0.00	0.00	131.60	73.58	0.56	81.90
b79h*	1.78	537	508.80	38.06	0.00	0.00	134.10	74.19	0.60	84.24
b95h*	2.1	540	611.10	42.33	0.00	0.00	133.30	73.99	0.61	84.68

\*acid. +  
déc.

Annexe 32a: Solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11 suivi d'une décantation et acidification.

Echantillon	pH	POR (mV)	Al3092		As1890		Ca3158		Cd2288	
			Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#11</b>										
Totaux a			1157.00		0.00		357.80		0.07	
a0h	2.85	358	45.62	4.14	0.00	0.00	168.20	49.36	0.03	41.97
a24h	2.86	392	60.25	5.47	0.00	0.00	168.40	49.42	0.05	72.10
a34h	2.67	427	72.49	6.58	0.00	0.00	180.00	52.82	0.07	109.24
a49h	2.3	539	79.94	7.25	0.00	0.00	174.90	51.33	0.07	100.91
a51h*	1.75	553	25.90	8.09	0.00	0.00	70.27	61.23	0.03	127.95
a71h*	1.63	561	60.27	11.21	0.00	0.00	72.27	61.82	0.03	120.93
a79h*	1.79	550	67.30	11.85	0.00	0.00	68.75	60.79	0.03	124.00
a95h*	1.75	546	71.79	12.26	0.00	0.00	65.45	59.82	0.03	117.42
Totaux b			1135.00		0.00	0.00	364.60		0.09	
b0h	2.87	359	41.16	3.81	0.00	0.00	158.80	45.73	0.03	31.05
b24h	2.91	385	60.85	5.63	0.00	0.00	179.70	51.75	0.06	76.40
b34h	2.72	418	70.37	6.51	0.00	0.00	184.20	53.05	0.07	91.07
b49h	2.33	531	82.55	7.64	0.00	0.00	186.50	53.71	0.09	106.96
b51h*	1.75	550	25.74	8.15	0.00	0.00	53.56	55.97	0.03	113.50
b54h*	1.7	562	36.78	9.17	0.00	0.00	56.44	56.80	0.03	114.36
b71h*	1.81	548	65.00	11.78	0.00	0.00	77.03	62.73	0.04	130.74
b79h*	1.75	546	65.66	11.84	0.00	0.00	74.66	62.05	0.03	121.69
b95h*	1.88	541	77.19	12.91	0.00	0.00	82.30	64.25	0.04	131.22

\*Acid. +  
décant.



## Annexe 32a:

Echantillon	Cr2677		Cu3247		Fe2395		Mg2790		Mn2576	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#11</b>										
Totaux a	5.86		3.14		1819.00		423.00		18.14	
a0h	0.75	13.42	0.03	1.11	753.90	43.52	43.23	10.73	10.06	58.23
a24h	0.21	3.70	1.10	36.94	535.50	30.91	44.74	11.11	9.43	54.55
a34h	0.23	4.14	1.55	51.86	473.20	27.32	48.32	11.99	9.90	57.32
a49h	0.28	4.95	2.19	73.31	206.20	11.90	47.22	11.72	9.40	54.39
a51h*	0.10	5.79	0.76	83.37	117.20	16.18	13.87	12.72	2.55	57.78
a71h*	0.67	15.90	1.24	99.53	464.60	36.24	21.40	14.59	2.87	59.65
a79h*	0.77	17.64	1.34	102.78	505.00	38.57	23.40	15.08	3.03	60.54
a95h*	0.85	19.21	1.35	103.05	544.10	40.83	25.70	15.65	3.00	60.41
Totaux b	5.65		3.08		1820.00		413.60		18.43	
b0h	0.66	12.24	0.02	0.78	721.70	41.64	40.68	10.33	9.67	55.10
b24h	0.19	3.56	1.12	37.96	577.20	33.30	47.45	12.05	10.18	58.00
b34h	0.21	3.98	1.49	50.70	508.30	29.33	50.53	12.83	10.57	60.22
b49h	0.26	4.91	2.15	73.27	212.90	12.28	50.36	12.78	10.11	57.60
b51h*	0.11	5.75	0.71	79.57	123.80	16.41	13.40	3.40	2.53	57.92
b54h*	0.25	8.41	0.89	85.67	222.30	22.10	15.12	3.84	2.71	58.92
b71h*	0.67	16.09	1.37	101.95	438.20	34.55	24.20	6.14	3.11	61.20
b79h*	0.70	16.73	1.33	100.52	435.70	34.41	24.49	10.86	3.04	60.78
b95h*	0.81	18.69	1.55	108.12	510.00	38.70	29.25	17.08	3.34	62.52

\*Acid. +  
décant.

## Annexe 32a:

Echantillon	Ni2316		P_1774		Pb2203		S_1807		Zn2138	
	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)	Moyenne (mg/L)	%Sol. (%)
<b>Séd.#11</b>										
Totaux a	2.64		40.40		227.26	6.82	470.20		74.21	
a0h	0.52	20.71	0.00	0.00	1.00	15.39	312.90	69.87	47.72	67.52
a24h	0.54	21.55	0.00	0.00	1.90	29.23	278.00	62.08	58.06	82.15
a34h	0.59	23.69	0.00	0.00	2.80	43.08	290.20	64.80	64.38	91.09
a49h	0.62	24.51	0.10	0.25	3.00	46.16	243.80	54.44	61.99	87.71
a51h*	0.19	27.05	0.30	0.97	2.70	78.06	78.71	60.65	17.82	94.61
a71h*	0.29	30.85	2.47	6.62	4.40	104.22	127.50	71.55	18.81	96.01
a79h*	0.31	31.61	2.53	6.77	3.90	96.52	138.40	73.98	19.63	97.17
a95h*	0.30	31.40	3.34	8.89			141.20	74.61	19.04	96.34
Totaux b	2.53		39.07		227.26	6.82	465.90		74.47	
b0h	0.48	20.07	0.00	0.00	0.90	13.85	290.40	65.45	45.23	63.77
b24h	0.57	23.86	0.00	0.00		0.00	285.60	64.37	60.46	85.25
b34h	0.62	25.62	0.00	0.00	2.40	36.93	289.40	65.22	66.04	93.11
b49h	0.65	27.20	0.02	0.04	2.30	35.39	248.40	55.98	67.74	95.51
b51h*	0.18	27.99	0.19	0.55	2.60	66.72	76.76	59.56	17.15	96.28
b54h*	0.21	29.07	0.39	1.09		26.71	90.42	62.64	18.10	97.62
b71h*	0.28	32.23	1.95	5.27	3.80	85.18	126.00	70.66	20.66	101.23
b79h*	0.30	33.06	1.69	4.58	3.80	85.18	125.80	70.61	20.07	100.40
b95h*	0.33	34.39	2.45	6.61			143.60	74.62	21.66	102.64

\*Acid. +  
décant.

Annexe 32b:

Echantillon	Ni		Cr		Fe		Cd	
Sédiment	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)	
séd#6	39.55		145.00		165892		65.00	
séd#11	76.30		161.00		69757		5	
<b>Sédiments</b>								
<b>traités et</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>		<b>%d'enlèv</b>
<b>filtrés</b>		(%)		(%)		(%)		(%)
<b>séd#6</b>								
a.71h	32.15	18.71	169.88	-17.16	171461	-3.36	14.79	77.25
b.71h	31.71	19.82	177.58	-22.47	179637	-8.29	15.64	75.94
a.78h	34.18	13.58	163.66	-12.87	165557	0.20	13.29	79.55
b.78h	32.99	16.59	180.79	-24.68	166883	-0.60	12.87	80.20
<b>séd#11</b>								
a.49h	71.09	6.83	200.29	-24.40	61078	12.44	0	100.00
b.49h	76.53	-0.30	221.94	-37.85	63010	9.67	1.28	74.40
a.54h	58.70	23.07	180.51	-12.12	50045	28.26	0.83	83.40
b.54h	62.08	18.64	186.23	-15.67	54459	21.93	0.72	85.60

Annexe 32b: Suivi des métaux dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11 suivi d'une décantation et acidification.

Echantillon	Pb		Cu		Zn		Mn	
Sédiment	Moyenne		Moyenne		Moyenne		Moyenne	
Brut	(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)		(mg/kg sédsec)	
séd#6	422.00		486.00		9850.00		406.00	
séd#11	306.00		120.00		2437.00		692.00	
<b>Sédiments</b>								
<b>traités et</b>		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv		%d'enlèv
<b>filtrés</b>		(%)		(%)		(%)		(%)
<b>séd#6</b>								
a 71h	318.32	24.57	262.59	45.97	2532.13	74.29	112.54	72.28
b 71h	346.70	17.84	280.11	42.36	2853.90	71.03	110.99	72.66
a 78h	211.94	49.78	213.65	56.04	2307.42	76.57	106.83	73.69
b 78h	287.67	31.83	217.73	55.20	2251.57	77.14	95.67	76.44
<b>séd#11</b>								
a.49h	249.99	18.30	47.39	60.51	331.74	86.39	248.81	64.04
b.49h	256.38	16.22	51.02	57.48	344.39	85.87	255.10	63.14
a.54h	149.70	51.08	34.24	71.47	249.49	89.76	205.46	70.31
b.54h	197.69	35.40	38.20	68.17	272.18	88.83	195.78	71.71

Annexe 32c: Suivi de l'As et du Hg dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11 suivi d'une décantation et acidification.

Echantillon sédiment brut	As			Hg	
	Moyenne (mg/kg sed sec)			Moyenne (mg/kg sed sec)	
séd #6	43.25			15.80	
séd #11	17.00			2.32	
sédiment traités et filtrés séd #6	%d'enlèv		%d'enlèv		
	(%)		(%)		
a71h	30.00	30.64	14.00	11.39	
b71h	45.00	-4.05	15.00	5.06	
a78h	42	2.89	17	-7.59	
b78h	40	7.51	15	5.06	
séd #11	a49h	27.00	-58.82	1.80	22.41
	b49h	17.00	0.00	1.80	22.41
	a72h	18.00	-5.88	2.40	-3.45
	b72h	10.00	41.18	2.30	0.86

Annexe 32d: Evaluation des solides totaux et volatils en suspension (MES, MVS) dans le surnageant des décantations des essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification.

Echantillon	MES (mg sol.susp.tot./L)	MVS (mg sol.vol./L)
<b>Après 72 heures</b>		
6a	0.14	0.05
6b	0.13	0.03
<b>Après 50 heures</b>		
11a	0.16	0.014
11b	0.13	0.02

Annexe 32e: Estimation de la solubilisation de la matière organique d'après le % de solides volatils retrouvés au début et à la fin du traitement dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification

Echantillon	Début (% SV)	Fin (% SV)
Séd#6	16.77	20.49 (après 71h)
Séd#6	16.77	19.59 (après 78h)
Séd#11	18.41	19.40 (après 47h)

Annexe 32fi)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6,#11 suivi d'une décantation et acidification.

## I-Métaux totaux

STATION	Cd mg/kg total	Cr mg/kg total	Cu mg/kg total	Fe mg/kg total	Mn mg/kg total	Ni mg/kg total	Pb mg/kg total	Zn mg/kg total
séd6-0h	45.6	128.45	542.0	135000	250.0	42.0	475.0	9563
séd6a-71h	15.101	190.95	272.54	176789	227.98	34.61	388.5	2558.2
séd6a-74h	13.02	182.3	212.76	183687	225.12	33.26	287.19	2267.81
séd11-0h	3.88	173.7	129.5	46023	406.0	73.1	372.8	2009
séd11a-49h	0.77	185.6	44.89	64219	318.02	58.68	254.28	380.41
séd11a-52h	0.69	176.81	36.4	58555	305.48	57.21	186.72	285.26
Mess-1	0.58	56.46	20.72	26275	403.97	23	30.97	161.55



Annexe 32fii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6,#11 suivi d'une décantation et acidification.

## II-Fraction NaOAc (incluant MgCl<sub>2</sub>, fraction échangeable) + métaux liés aux carbonates).

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd6-0h	0.155	15.04	0.570	2627.0	40.2	5.01	75.40	650.00
séd6a-71h	2.830	21.55	19.07	3078	14.80	1.99	130.08	431.86
séd6a-74h	1.184	22.77	5.62	3482	7.86	1.43	75.86	200.12
séd11-0h	2.020	7.49	8.730	1333.0	36.1	4.41	157.00	919.00
séd11a-49h	0.166	11.51	1.29	2662	13.35	1.47	52.22	75.34
séd11a-52h	0.049	11.47	0.19	1769	5.44	1.26	27.31	24.40
Mess-1	0.440	0.72	0.80	35	17.92	0.48	7.68	48.24
Lim.de detection	0.040	0.13	0.03			0.20	0.36	

Annexe 32fiii)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6,#11 suivi d'une décantation et acidification.

### III-Fraction 3b: (métaux liés aux hydroxydes de Fe et Mn)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd6-0h	28.200	56.40	2.810	12142.0	34.5	8.20	268.80	5816.00
séd6a-71h	1.041	77.30	4.67	30263	20.18	3.82	110.64	366.34
séd6a-74h	0.631	66.63	1.74	28631	22.86	2.83	75.33	278.69
séd11-0h	1.470	40.50	4.450	16600.0	65.7	10.40	114.90	665.70
séd11a-49h	0.294	51.89	2.10	25001	43.07	6.51	49.16	159.67
sed11a-52h	0.338	42.54	1.35	21835	41.64	6.75	31.51	135.06
Mess-1	0.083	3.74	0.42	3328	68.65	3.12	9.99	41.61

Annexe 32fiv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6,#11 suivi d'une décantation et acidification.

IV-Fraction H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: (métaux liés a la matière organique et aux sulfures)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd6-0h	8.500	14.70	347.00	1064.0	3.6	5.20	48.00	1914.00
séd6a-71h	2.58	17.6	119.80	1848	3.0	3.8	33.8	704.0
séd6a-74h	2.70	21.4	78.40	2274	4.4	4.0	30.0	730.0
séd11-0h	0.380	20.10	87.00	2591.0	19.1	8.10	19.40	77.80
séd11a-49h	0.16	19.2	22.00	3256	11.6	7.2	25.4	45.4
séd11a-52h	0.19	22.8	16.56	3018	11.4	6.7	17.2	38.7
Mess-1	0.06	5.0	13.00	3012	27.4	2.4	3.8	26.2
Lim. de detection	0.06	0.3	0.06			0.4	0.4	

Annexe 32fv)

Différentes phases lors de l'extraction sélective des métaux dans les essais de solubilisation à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6,#11 suivi d'une décantation et acidification.

V-Fraction HF: (fraction résiduelle)

STATION	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Fe ug/g	Mn ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
séd6-0h	8.700	42.20	191.0	119450	172.5	24.00	83.20	1183.0
séd6a-71h	8.65	74.5	129.0	141600	190	25.0	114.0	1056.0
séd6a-74h	8.50	71.5	127.0	149300	190	25.0	106.0	1059.0
séd11-0h	0.030	107.50	31.0	29075	243.7	47.30	79.30	94.6
séd11a-49h	0.15	103.0	19.5	33300	250	43.5	127.5	100.0
séd11a-52h	0.11	100.0	18.3	31933	247	42.5	110.7	87.1
Mess-1	0.00	47.0	6.5	19900	290	17.0	9.5	45.5
Lim. de detection	0.10	0.7	0.1			1.0	1.0	

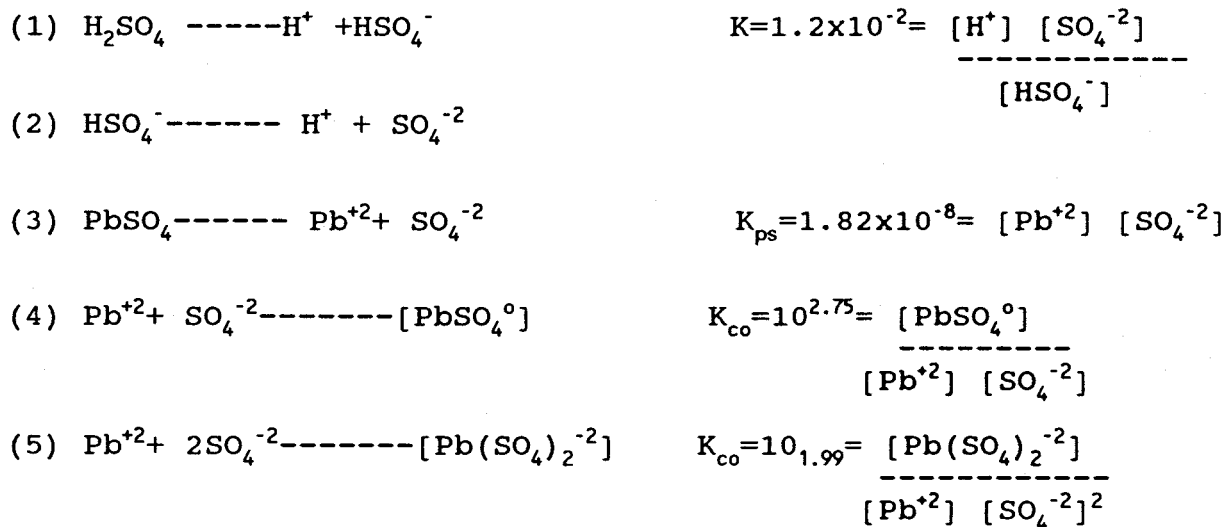
Annexe 32g: Détermination de la concentration de l'ion libre dans les essais de solubilisation des métaux à partir d'une souche acclimatée au FeCl<sub>2</sub> dans les sédiments #6 et #11, suivi d'une décantation et acidification.

		Concentration de Mz+ (nmole/L)				
		Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
séd.#6	avant trait.	118.2	0.89	0.35	0.28	31.2
	après trait. (71h)	15.7	0.59	0.066	0.046	0.79
	après trait. (76h)	14.4	0.23	0.052	0.033	0.63
séd.#11	avant trait.		1.74	5.27	0.15	7.13
	après trait. (49h)		0.86	2.19	0.045	1.13
	après trait. (52h)		0.4	2.6	0.033	1.1

et pour déterminer Mz+ les constantes employées sont

Cd	x=0.82	y=0.96	(Nom*Kom-Cd)=10-1.22 et (NFe*KFe-Cd)=10-2.38
Zn	x=1.26		(NFe*Km)=10-2.38
Ni	x=1.04		(NFe*Km)=10-2.29
Pb	x=0.81		(NFe*Km)=10+.67
Cu	x=0.64		(NFe*Km)=10+.10

Annexe 33: Equations ayant servi au calcul de la concentration de Pb soluble total dans les sédiments.



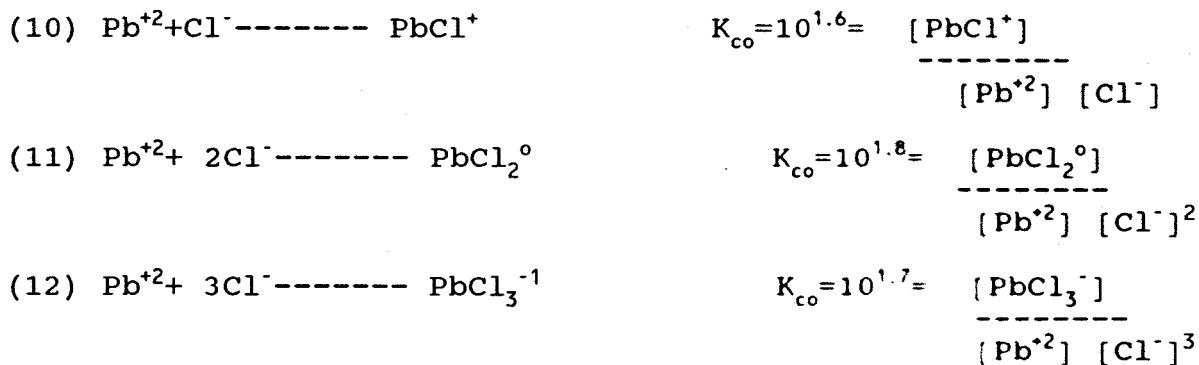
$$(6) S_t = [\text{SO}_4^{-2}] + [\text{HSO}_4^-]$$

$$(7) \text{HSO}_4^- = S_t - [\text{SO}_4^{-2}]$$

$$\text{et de (2) } \text{SO}_4^{-2} = K \frac{[\text{HSO}_4^-]}{[\text{H}^+]} = \frac{(1.2 \times 10^{-2}) [\text{HSO}_4^-]}{[\text{H}^+]} \quad (8)$$

$$\text{et (7) dans (8) } \text{SO}_4^{-2} = \frac{(1.2 \times 10^{-2}) (S_t - [\text{SO}_4^{-2}])}{[\text{H}^+]} \quad (9)$$

Et s'il y a présence d'ions  $\text{Cl}^-$ , les équations suivantes sont aussi utilisées:



La concentration de Pb soluble totale provient de l'addition du  $\text{Pb}^{+2} + [\text{PbSO}_4^0] + [\text{Pb}(\text{SO}_4)_2^{-2}] + [\text{PbCl}^+] + [\text{PbCl}_2^0] + [\text{PbCl}_3^{-1}]$

Annexe 34 Normes recommandées par Environnement Canada (1978)  
quant à la teneur en métaux dans les sédiments du fleuve  
St-Laurent pour le rejet en eau libre.

Métaux (mg/kg)	Zn	Cd	Cu	Ni	Hg	Pb	Cr	BPC	As
	175	8	60	25	1	60	90	0.1	6