

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE EAU, TERRE ET ENVIRONNEMENT**

**DISTRIBUTION ET GÉOCHIMIE DE L'ARSENIC
DANS LES SÉDIMENTS DE L'OCÉAN ARCTIQUE**

Par

Marie-Ève RANDLETT

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de :

Maître ès Sciences (M.Sc.)

Sciences de l'eau

Jury d'évaluation

M. Charles Gobeil, INRS-ETE, directeur de recherche

M. Jean-Christian Auclair, INRS-ETE, examinateur interne

M. Nelson Belzile, Université Laurentienne, examinateur externe

Mars 2010

©Droits réservés de Marie-Ève RANDLETT, 2010



RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail était de contribuer à développer les connaissances sur les cycles biogéochimiques des éléments dans l'océan Arctique, en particulier celui de l'arsenic (As), un métalloïde dont le cycle à l'interface eau-sédiment, parce qu'il est couplé à celui du carbone organique, pourrait être altéré suite au réchauffement attendu du climat. Pour ce faire, les profils de l'As jusqu'à 30-50 cm de profondeur dans les sédiments, de même que ceux d'autres éléments (Al, Fe, Mn, C organique, S total et différentes formes de S inorganique réduit), ont été déterminés dans 26 carottes provenant des mers de Béring et des Tchoukches, du canyon Barrow au nord de l'Alaska, de la mer de Beaufort et des bassins abyssaux de l'océan Arctique, soit le bassin eurasiatique et le bassin du Canada.

Les résultats de cette recherche révèlent que les teneurs en As varient fortement, en l'occurrence de 6 à 174 $\mu\text{g g}^{-1}$, à la fois spatialement et en fonction de la profondeur sous l'interface eau-sédiment. Dans les sédiments de la marge continentale et dans ceux des bassins abyssaux, les rapports As/Al dans les sédiments sont respectivement jusqu'à 22 et 8 fois supérieures à la valeur moyenne de ce rapport dans les schistes argileux. L'enrichissement en As des sédiments de l'océan Arctique n'est cependant pas dû à l'activité humaine. Une part importante des enrichissements observés résulterait plutôt de l'adsorption de l'As sur les oxyhydroxydes de Fe. Dans les sédiments de la marge continentale, ces composés sont présents dans une couche de surface dont l'épaisseur varie selon les sites entre moins de 1 cm et 10-15 cm. Dans les sédiments abyssaux, les oxyhydroxydes de Fe persisteraient cependant jusqu'à 40-50 cm de profondeur dans les sédiments et expliqueraient la présence de teneurs élevées en As non lithogène à cette profondeur. Tel que le suggèrent les augmentations simultanées en fonction de la profondeur des teneurs en As et en S inorganique réduit (principalement FeS et FeS₂), l'As sous forme non lithogène dans les sédiments de la partie profonde des carottes de la marge continentale résulteraient par contre d'interactions As-Fe-S.

La combinaison des résultats de la présente étude à ceux de travaux récents sur les sources et les puits de sédiments dans l'océan Arctique nous permet de poser un premier jalon au bilan de masse de l'As dans cet océan. Nous proposons qu'environ 8300 et 4300 T a⁻¹ d'As s'accumulent respectivement dans la marge continentale et dans la zone abyssale de l'océan Arctique, dont respectivement 5100 et 3100 T a⁻¹ sous forme non lithogène. La séquestration de l'As dans les sédiments de l'océan Arctique serait alors équivalente à environ 15% des apports totaux de cet élément à l'océan mondial tels qu'estimés dans la littérature. Bien qu'il ne représente qu'une petite fraction de l'océan mondial en termes de volume (<1%) et de superficie (<3%), l'océan Arctique jouerait par conséquent un rôle clé dans le cycle biogéochimique océanique global de l'As.



REMERCIEMENTS

À mon directeur de recherche Charles Gobeil pour son soutien tout au long de mon parcours académique à l'INRS-ETE.

Au Dr Robie Macdonald pour sa précieuse collaboration à mon projet.

Aux professeurs Nelson Belzile et Jean-Christian Auclair pour avoir accepté de revoir et commenter mon mémoire en dépit de leur horaire chargé.

À Raoul Couture, étudiant au doctorat en sciences de l'eau à l'INRS-ETE, pour ses conseils judicieux.

Aux équipages des brise-glaces de la Garde côtière canadienne qui ont rendu possible le prélèvement des carottes de sédiments analysées pour mes recherches.

Au personnel professionnel et technique de l'INRS-ETE pour leurs aides et conseils lors de mes analyses en laboratoire, en l'occurrence Michelle Bordeleau, René Rodrigue, Pauline Fournier et Lise Rancourt.

À ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel.



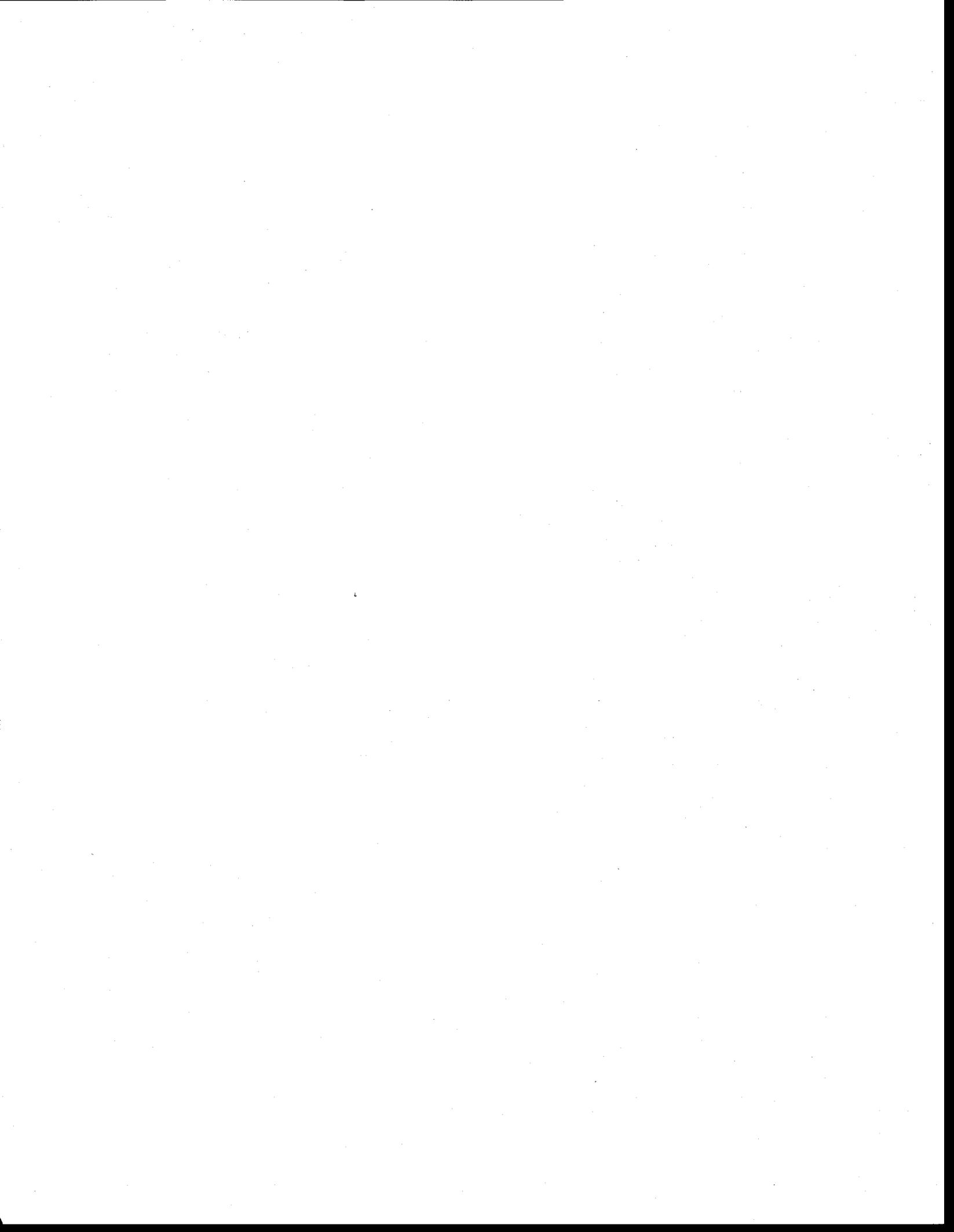
TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
1. INTRODUCTION	1
1.1. Contexte	1
1.2. Objectifs	3
1.3. Zones d'études.....	3
1.3.1. Marge continentale (plateau et pente).....	4
1.3.2. Bassins abyssaux	8
2. MÉTHODES	9
2.1. Échantillonnage.....	9
2.2. Mesure des éléments As, Al, Fe, Mn, S et C.....	9
2.3. Mesure du S inorganique réduit	12
3. RÉSULTATS	15
3.1. C organique	15
3.2. S total.....	23
3.3. S inorganique réduit	23
3.4. Mn	24
3.5. Fe.....	25
3.6. As	26
4. DISCUSSION	27
4.1. Enrichissement des sédiments en arsenic.....	27
4.2. Origine des teneurs élevées en arsenic dans les sédiments	30

4.3. Association de l'arsenic avec les oxyhydroxydes de fer	32
4.3.1. Carottes de marges	34
4.3.2. Carottes de bassin	36
4.4. Association arsenic, soufre et fer.....	38
4.5 Séquestration de l'As dans les sédiments de l'océan Arctique	39
5. CONCLUSION.....	45
BIBLIOGRAPHIE.....	47
ANNEXE 1 – RÉSULTATS ANALYTIQUES.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des stations de carottage occupées (a) en 1990 (stations SS3 et L50), 1993 (stations F2, F9, C1, E1, E4 et TC) et 1994 (stations 2, 11, 18, 26, 35, 36 et 37) lors de missions océanographiques du Ministère des pêches et des océans et (b) en juillet 2007 dans le cadre d'une mission en lien avec le Programme canadien de l'année polaire internationale.....	6
Figure 2. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{RED} , S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations SLIP1, SLIP3 et SLIP4 dans de la mer de Béring. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3).....	16
Figure 3. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{RED} , S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations UTN5 et UTN7 dans la mer des Tchoukches. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3).....	17
Figure 4. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations 2, F9 et F2 dans la mer des Tchoukches. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3).....	18
Figure 5. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{RED} , S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations BC4, BC5 et BC6 dans le canyon Barrow. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3).....	19
Figure 6. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{RED} , S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations CG1, CG2, CG3, SS3 et L50 dans la mer de Beaufort. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3).....	20
Figure 7. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations E4, TC, 11, E1, C1, 18 et 26 dans le bassin du Canada.....	21
Figure 8. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S _{TOT} et C _{ORG} dans les sédiments des stations 35, 36 et 37 du bassin eurasien.....	22
Figure 9. Profil vertical du rapport massique As/Al dans toutes les carottes de sédiments. La ligne pointillée représente la valeur moyenne probable de ce rapport pour les schistes argileux ($1,3 \times 10^{-4}$) selon la littérature (voir texte).....	29
Figure 10. Contenu total (inventaire) dans chacune des carottes de l'As non lithogène (As ^{NL}) entre 0 et 40 cm de profondeur. Les lignes pointillées représentent les moyennes pour les carottes de marge (à gauche) et de bassin (à droite).....	33
Figure 11. Teneurs moyennes en As ^{TOT} (a) et en As ^{NL} (b) entre 30 et 40 cm de profondeur dans chacune des carottes de marge et de bassin. La ligne pointillée horizontale représente les moyennes pour chacun des deux grands compartiments.....	40



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Coordonnées géographiques des stations de carottage. La profondeur d'eau et l'année du carottage à chacune d'elles sont également indiquées.	7
Tableau 2. Précisions et justesses analytiques des mesures de chacun des éléments telles que déterminées par des analyses répétées des matériaux de référence standards PACS-2 et MESS-3 (calculées à partir des écarts types).	11
Tableau 3. Teneurs moyennes en As total (AsTOT) et en As non lithogène (AsNL) entre 30 et 40 cm de profondeur dans les sédiments de nos carottes de marge et de bassin et estimation de l'accumulation des sédiments, de l'AsTOT et de l'AsNL dans l'ensemble de la marge continentale et de la zone abyssale de l'océan Arctique. Les valeurs d'accumulation des sédiments sont celles de Stein et Macdonald (2004).	41



1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Le réchauffement planétaire résultant d'une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère affecte les régions polaires plus que les autres (ACIA, 2004). Dans l'Arctique, on estime que la température moyenne de la troposphère s'est élevée d'environ 0,2 °C par décennie entre 1978 et 2002 (Vinnikov et Grody, 2003). Une telle augmentation de la température a entre autres contribué à réduire le volume et l'aire occupés par la glace pérenne dans l'océan Arctique (Vinnikov *et al.*, 1999). Selon des estimations récentes (Comiso *et al.*, 2008), l'aire de la glace pérenne arctique aurait diminué d'environ 30% entre 1979 et 2007. Plusieurs conséquences découlant de ces changements sont à prévoir, notamment pour les cycles biogéochimiques des éléments. Par exemple, tel que le suggèrent des données sur la distribution du soufre inorganique réduit, du manganèse et du rhénium dans les sédiments des bassins abyssaux de l'océan Arctique, le flux du carbone organique qui se dépose à l'interface eau-sédiment aurait augmenté au cours des 50 dernières années en raison de la réduction du volume et du couvert de glace (Gobeil *et al.*, 2001; Katsev *et al.*, 2006).

Bien que les facteurs qui influencent la production primaire dans l'océan Arctique soient multiples et complexes, il est en effet des plus probables qu'en favorisant la pénétration de la lumière dans les eaux de surface, la diminution du couvert de glace accroisse la production de phytoplancton (Carmack *et al.*, 2006). L'interprétation de données satellitaires a d'ailleurs mené Arrigo *et al.* (2008) à conclure que la production primaire a subi une hausse notable entre 2003 et 2007, lorsque l'aire du couvert de glace dans l'océan Arctique subissait une diminution importante. Or, l'accroissement de la productivité augmentera le flux du carbone organique qui se dépose à l'interface eau-sédiment, réduira la profondeur de pénétration de l'O₂ sous cette interface et, par le fait même, affectera le cycle des éléments dont la diagenèse est couplée à celle du carbone (Carmack *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2000). Le recyclage des oxyhydroxydes de manganèse et de fer dans les sédiments de la marge continentale pourrait par exemple se produire plus près de l'interface eau-sédiment, modifiant du même coup les flux benthiques de ces

éléments (Johnson *et al.*, 1999) et le rôle que joue la marge continentale en tant que puits ou source de fer (Elrod *et al.*, 2004). Des conditions plus réductrices découlant d'une augmentation du dépôt de carbone organique à l'interface eau-sédiment favoriserait en outre la réduction du sulfate, la précipitation de sulfure de métaux et l'accumulation dans les sédiments de métaux traces sensibles à l'oxydoréduction comme le cadmium, l'uranium, le rhénium et le molybdène qui se fixent dans les sédiments sous une forme solide en absence d'O₂ (Gobeil *et al.*, 1997; Morford *et al.*, 2007; Sundby *et al.*, 2004).

L'arsenic est un autre élément dont la distribution est fortement modifiée lors des stades précoces de la diagenèse. Le comportement géochimique de ce métalloïde a beaucoup été étudié au cours des dernières décennies, voir notamment les articles de revue de Ferguson et Gavis (1972) et Smedley et Kinniburgh (2002). Il est bien connu que l'arsenic a une forte tendance à s'associer aux oxyhydroxydes de fer par adsorption dans les couches de sédiments où ces composés sont concentrés (Belzile, 1988; Belzile et Tessier, 1990; Farquhar *et al.*, 2002; Wilkie et Hering, 1996). L'As est par conséquent remobilisé dans les eaux interstitielles et redistribué dans la colonne de sédiment lorsque les oxyhydroxydes de fer sont réduits de pair à l'oxydation de la matière organique (Froelich *et al.*, 1979; Mucci *et al.*, 2000; Peterson et Carpenter, 1986). Une partie de l'As dissous produit migre vers l'interface eau-sédiment et s'adsorbe de nouveau sur les oxyhydroxydes de fer qui y sont présents (Belzile et Tessier, 1990) et peut même éventuellement diffuser dans les eaux sus-jacentes aux sédiments (Martin et Pedersen, 2002; Martin et Pedersen, 2004). Une certaine fraction de l'As remobilisé dans les eaux interstitielles peut cependant migrer plus en profondeur dans les sédiments et copécipiter avec la pyrite (Belzile et Lebel, 1986), s'adsorber sur différentes phases de sulfure de fer (Bostick et Fendorf, 2003; Couture *et al.*, 2010), voire même peut-être précipiter sous la forme d'orpiment (Bostick *et al.*, 2004), soit As₂S₃. L'arsenic est donc un élément trace dont le cycle biogéochimique risque d'être altéré dans l'océan Arctique en conséquence du réchauffement planétaire (Macdonald *et al.*, 2005).

1.2. Objectifs

Cette étude a pour objectif général de contribuer à développer les connaissances sur les cycles des éléments dans l'océan Arctique, en particulier celui de l'As, un métalloïde sensible aux changements d'oxydoréduction. Pour ce faire, nous rapportons, pour 26 carottes prélevées dans la marge continentale et les bassins profonds de l'océan Arctique, les profils dans les sédiments des éléments As, Mn, Fe, Al, C et ceux de différentes formes de S inorganique réduit. Les objectifs spécifiques de ce mémoire sont de :

1. Faire ressortir les contrastes et les similitudes dans le patron de distribution de l'As dans les sédiments, et ce, entre différentes sous-régions de la marge continentale et entre la marge continentale et les bassins abyssaux;
2. Identifier les processus de diagenèse précoce clés qui affectent la distribution de l'As dans les sédiments;
3. Proposer un premier bilan à grande échelle de l'accumulation de ce métalloïde dans les sédiments de l'océan Arctique.

1.3. Zones d'études

La localisation des sites de prélèvement des carottes de sédiment analysées pour le présent travail est identifiée à la figure 1. Des carottes de sédiments provenant de 26 stations localisées dans l'océan Arctique ont été analysées (figure 1). Les coordonnées géographiques des stations ainsi que la profondeur d'eau et l'année du prélèvement à chacune d'elles sont données au tableau 1. La profondeur d'eau varie entre environ 50 et 1000 m à 18 des stations et entre 2000 et 4000 m aux 8 autres stations (tableau 1). Dans la suite de ce mémoire, on considérera deux grandes catégories de carottes. À trois exceptions près, on classera celles prélevées à moins de 1000 m de profondeur dans une catégorie nommée « carottes de marge continentale » et les autres dans une catégorie nommée « carottes de bassin ». Une des exceptions est la carotte BC6, prélevée à 2125 m au pied de la pente continentale dans le canyon Barrow au large de l'Alaska (figure 1), qu'on inclura dans la catégorie des carottes de marge, en raison, comme expliqué au chapitre 3, du fait que plusieurs de ses caractéristiques géochimiques sont typiques de celles des carottes de cette catégorie. Les autres exceptions sont les carottes E4 et TC, prélevées respectivement à 850 et 630 m sur la pente continentale à la limite des mers des

Tchouktches et de Sibérie orientale (figure 1), qu'on classera dans la catégorie des carottes de bassin, également en raison de ses caractéristiques communes avec celles des carottes de cette catégorie. Ci-dessous, quelques uns des traits océanographiques distinctifs des sous-régions de prélèvement sont relevés.

1.3.1. Marge continentale (plateau et pente)

Les stations de marge sont localisées dans les mers de Béring (stations SLIP1, SLIP3 et SLIP4) et des Tchouktches (stations UTN5, UTN7, 2, F2 et F9), dans le canyon Barrow au nord de l'Alaska (stations BC4, BC5 et BC6) et dans la mer de Beaufort (stations CG1, CG2, CG3, L50 et SS3).

Comprises entre la Russie et l'Alaska, les mers de Béring et des Tchouktches se situent de part et d'autre du détroit de Béring (figure 1). Au plan océanographique, les mers de Béring et des Tchouktches sont fortement sous l'influence des remontées des eaux profondes du Pacifique enrichies en éléments nutritifs (Cooper *et al.*, 1997). Ces apports de nutriments stimulent la production primaire qui peut atteindre entre 500 et 800 gC m⁻² a⁻¹ sur les côtes sibériennes, au Nord de l'île Saint-Laurent et à l'entrée de la mer des Tchouktches (Springer *et al.*, 1996). La biomasse benthique est diversifiée et abondante dans ces milieux (Grebmeier et Cooper, 1995; Klages *et al.*, 2004), ce qui suggère qu'une portion importante de la production primaire échappe à la dégradation dans la colonne d'eau et se dépose à l'interface eau-sédiment (Naidu *et al.*, 2004). Par ailleurs, la littérature indique qu'une certaine portion du carbone organique produit dans la mer de Béring pourrait être exportée jusque dans la partie centrale de la mer des Tchouktches, peut-être même jusque dans le bassin du Canada plus au large (Belicka *et al.*, 2002).

Cinq autres de nos carottes de marge continentale proviennent du plateau Mackenzie dans la mer de Beaufort (figure 1). La gire de Beaufort exerce une influence sur la circulation océanique à grande échelle dans cette région, de même que le courant Beaufort sous-marin (Beaufort *undercurrent*). La mer de Beaufort est par ailleurs sous la forte influence du fleuve Mackenzie. Ce dernier a un débit moyen de $3,3 \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$, lequel représente le quatrième débit fluvial en importance se déversant dans l'océan Arctique après ceux des fleuves Yenisei, Lena, et Ob (Macdonald *et al.*, 1998; Rachold *et al.*, 2004). En

ce qui concerne le transport de sédiment, le fleuve Mackenzie se classe cependant au premier rang parmi tous les fleuves arctiques. Il transporte annuellement environ $124 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$ de sédiment, soit plus de 50% de la quantité totale ($230 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$) apportée à l'océan Arctique par les fleuves (Macdonald *et al.*, 2004; Stein et Macdonald, 2004a). Par ailleurs, la production primaire, caractérisée par de fortes variations saisonnières, est de l'ordre d'environ $50 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ dans la mer de Beaufort, un taux comparable à ceux estimés pour plusieurs autres mers marginales arctiques (Macdonald *et al.*, 1998). Selon Gobeil *et al.* (1997), les apports de C organique aux sédiments se font en épisodes pulsés, ce qui contribue à maintenir des conditions géochimiques non stationnaires dans les sédiments.

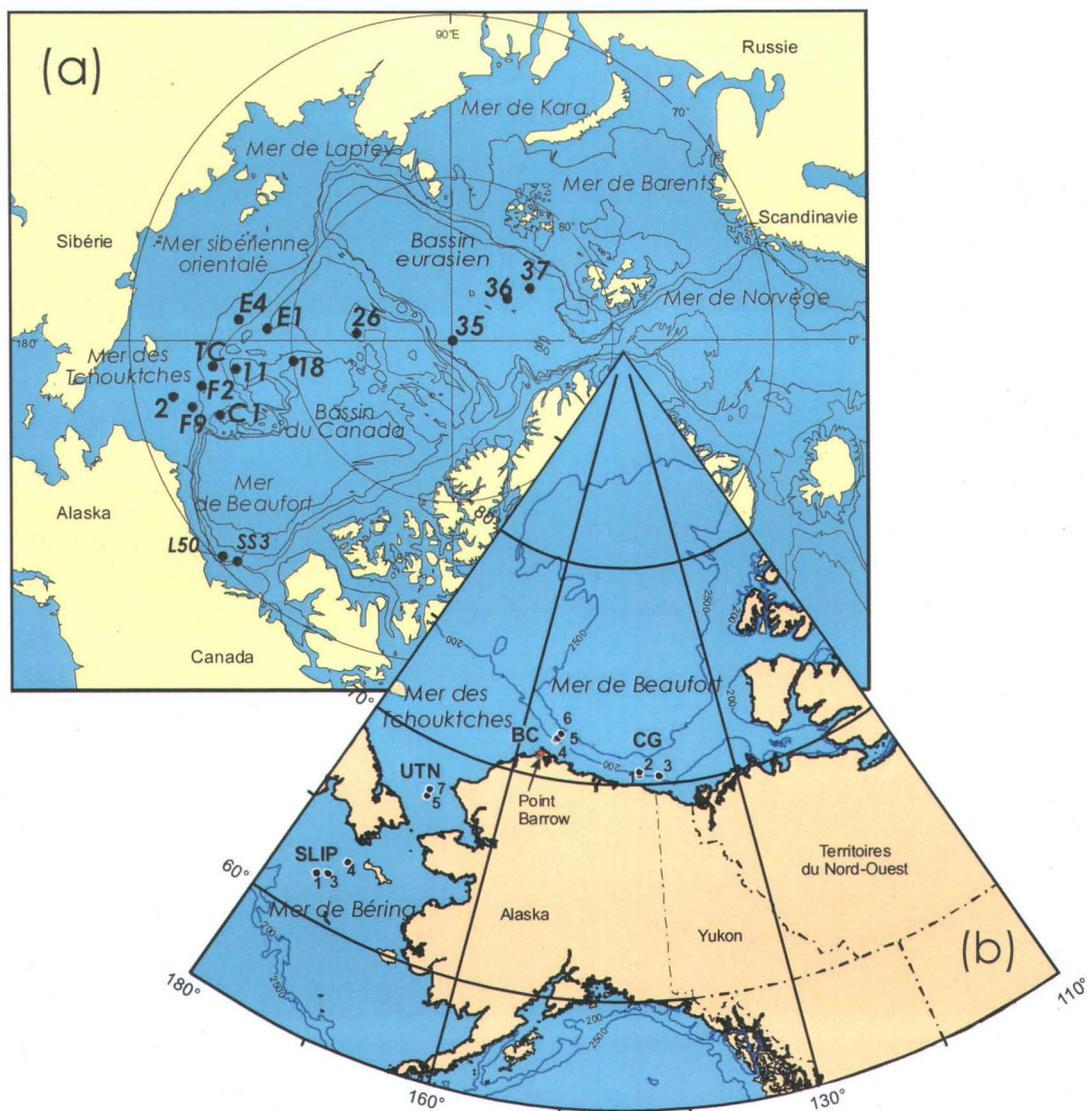


Figure 1. Localisation des stations de carottage occupées (a) en 1990 (stations SS3 et L50), 1993 (stations F2, F9, C1, E1, E4 et TC) et 1994 (stations 2, 11, 18, 26, 35, 36 et 37) lors de missions océanographiques du Ministère des pêches et des océans et (b) en juillet 2007 dans le cadre d'une mission en lien avec le Programme canadien de l'année polaire internationale.

Tableau 1. Coordonnées géographiques des stations de carottage. La profondeur d'eau et l'année du carottage à chacune d'elles sont également indiquées.

Station	Latitude (N)	Longitude (O ou E)	Profondeur (m)	Année du prélèvement
SLIP1	62°00.8	175°03.4 (O)	80	2007
SLIP3	62°23.6	174°34.2 (O)	73	2007
SLIP4	63°01.7	173°27.5 (O)	73	2007
UTN5	67°40.2	168°57.5 (O)	51	2007
UTN7	67°59.9	168°56.0 (O)	58	2007
2	72°09.9	168°48.3 (O)	52	1994
F2	74°29.0	171°02.3 (O)	210	1993
F9	73°27.2	166°15.0 (O)	75	1993
BC4	71°55.8	154°53.2 (O)	599	2007
BC5	72°00.0	154°42.5 (O)	1015	2007
BC6	72°14.0	154°02.2 (O)	2125	2007
CG1	70°33.7	142°51.5 (O)	204	2007
CG2	70°42.0	142°49.9 (O)	619	2007
CG3	70°27.7	140°09.6 (O)	566	2007
L50	70°24.5	139°04.8 (O)	711	1990
SS3	70°58.2	134°41.4 (O)	274	1990
E1	78°47.0	176°06.4 (E)	2065	1993
26	84°03.8	175°05.3 (E)	3130	1994
18	80°08.5	173°20.2 (O)	2860	1994
11	76°39.2'	173°23.1 (O)	2265	1994
C1	74°59.7	162°02.8 (E)	1965	1993
E4	76°57.1	174°07.2 (E)	850	1993
TC	75°19.1	173°53.7 (O)	630	1993
35	90°00.0	-	4230	1994
36	85°42.8	37°39.0 (E)	3605	1994
37	82°53.5	35°26.0 (E)	4000	1994

1.3.2. Bassins abyssaux

Les carottes de bassin sont localisées dans le bassin du Canada (stations 11, 18, 26, C1, E1, E4 et TC) et dans le bassin eurasien (stations 35, 36 et 37). La superficie combinée du bassin du Canada et du bassin eurasien représente environ 50% de la superficie totale ($9,5 \times 10^6 \text{ km}^2$) de l'océan Arctique (Jakobsson *et al.*, 2004). Ces deux grands bassins sont séparés par la dorsale Lomonosov et la profondeur moyenne y est de 2748 m (Jakobsson *et al.*, 2004). Les taux de sédimentation y sont mal connus mais ils pourraient être de l'ordre de 0,1-0,3 cm ka^{-1} selon Darby *et al.* (1997) bien que d'autres auteurs ont suggéré un taux plus faible de 0,02-0,3 cm ka^{-1} (Huh *et al.*, 1997). Selon Stein et Macdonald (2004a), la quantité de sédiment qui s'accumule dans les bassins centraux de l'océan Arctique est d'environ $142 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$ et la majorité du carbone organique y est probablement d'origine terrigène.

L'océan Arctique central est caractérisée par une production primaire faible, notamment en raison d'un couvert de glace permanent (Sakchaug, 2004). Macdonald et Carmack (1991) et Wheeler *et al.* (1996) l'estiment être de l'ordre de $\sim 10 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Le transport de C organique dans les grands fonds de l'océan Arctique est néanmoins peut-être plus important qu'on pourrait le penser en raison d'un mode de production différent de celui qu'on trouve dans les autres océans (Gobeil *et al.*, 2001). La production de matière organique planctonique sous la glace et son transport en épisodes pulsés pourraient en être la cause. Des estimations de la faune benthique ont été faites par Clough *et al.* (1997) ainsi que Klages *et al.* (2004). Selon ces auteurs, la faune benthique dans les sédiments des abysses arctiques est peu variée et peu abondante, une situation qui pourrait cependant être altérée selon (Piepenburg, 2005) en raison d'une augmentation suite au réchauffement du climat de l'advection de sédiments et de C organique des marges vers les bassins profonds (Forest *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2008).

2. MÉTHODES

2.1. Échantillonnage

Les carottes de sédiment ont été prélevées à l'aide d'un carottier à boîte ayant une superficie d'échantillonnage de $0,06 \text{ m}^2$ ($20 \times 30 \text{ cm}$) lors de missions océanographiques du Ministère des pêches et des océans. Ces missions eurent lieu en 1990, 1993, 1994 et 2007 (tableau 1) à bord de brise-glace de la Garde côtière canadienne, en l'occurrence le *NGCC Henry Larsen*, le *NGCC Sir Wilfrid Laurier* et le *NGCC Louis S. Saint-Laurent*. On peut par ailleurs souligner que c'est dans le cadre du Programme canadien de l'année polaire internationale que la mission de 2007 a été effectuée. Lors de chacune des missions, les carottes ont été rapidement sous-échantillonnées après leur prélèvement dans les conditions ambiantes à l'aide de spatules en acier inoxydable. L'épaisseur des couches de sédiment prélevées augmentait en fonction de la profondeur sous l'interface eau-sédiment; elle était généralement de 1 cm jusqu'à 10 cm de profondeur, puis augmentait progressivement à 2, 3 et 5 cm. Lors de la mission de 2007, des couches de 0,5 cm d'épaisseur ont cependant été recueillies entre la surface des carottes et 2 cm de profondeur. Seuls les sédiments n'ayant pas été en contact avec les parois de la boîte ont été recueillis; la longueur des carottes variait selon les stations entre 35 et 50 cm. Les échantillons destinés aux analyses de S inorganique réduit (voir section 2.3) ont été conservés au congélateur dans des sacs en plastique scellés desquels on avait expulsé l'air ambiant mais on peut exclure qu'une certaine fraction du S réduit ait pu avoir été oxydée. Les échantillons destinés aux analyses des éléments As, Al, Fe, Mn, S et C ont été conservés, également au congélateur, dans des contenants en polypropylène ou dans des sacs en plastique.

2.2. Mesure des éléments As, Al, Fe, Mn, S et C

Les sédiments ont été séchés par lyophilisation et minéralisés complètement avec des acides ultra propres (McLaren *et al.*, 1995; Sturgeon *et al.*, 1982). Environ 0,25 g de sédiment sec pesé exactement a été déposé dans un bécher en Teflon, lequel a été chauffé sur plaque au point d'ébullition recouvert d'un verre de montre pendant 1 h avec 10 mL de HNO_3 , puis pendant 2 h avec 4 mL de HClO_4 . Après refroidissement de la solution, 5 mL de HF ont été ajoutés pour compléter la minéralisation pendant environ 12 h à la

température de la pièce. Les acides ont ensuite été évaporés par chauffage sur plaque chauffante et le résidu a été dissous dans 1 mL de HNO₃ concentré et transférée dans un tube en polyéthylène; le volume a alors été complété à 50 mL. Les tubes avaient préalablement été lavés par trempages successifs, chacun pendant deux jours, dans des bains de HNO₃ à une concentration de 15% et de 1% (v/v) et par rinçage à l'eau déminéralisée.

Les concentrations en As dans les solutions de sédiments ont été déterminées par génération d'hydrure et spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer 2100) à l'aide d'un analyseur en flot continu (Perkin Elmer FIAS 400). Cette méthode, qui permet de mesurer l'As total dans les échantillons (Planer-Friedrich et Merkel, 2006), nécessite une étape de réduction préalable de l'As. Entre 300 et 1000 µL d'échantillon ont été mis dans un tube propre de 30 mL avec 1 mL d'une solution de KI (5%, p/v) et d'acide ascorbique (5%, p/v) et 1 mL de HCl concentré. Après avoir agité et laissé s'écouler un temps de réaction de 45 minutes, le tout a été dilué à 10 mL avec de l'eau déminéralisée et les échantillons ont été analysés à l'intérieur d'un délai de 24 h. La solution permettant la formation de l'hydrure d'As dans la cellule de réaction était constituée de HCl (30%, v/v) et de NaBH₄ (0,5%, p/v). Les teneurs en Al, Fe, Mn et S ont par ailleurs été déterminées après dilution appropriée avec un spectromètre d'émission atomique couplé à une torche à plasma (ICP-AES; VISTA AX CCD). Il est à noter que le S ainsi mesuré sera toujours identifié ci-après comme S_{TOT} (pour S total) de manière à bien le distinguer du S inorganique réduit mesuré par lixiviation partielle (voir section 2.3). Enfin, le C organique (C_{ORG}) a été déterminé après acidification des échantillons à l'aide d'un analyseur conventionnel CHNS (Carbo Erba).

Les précisions et justesses analytiques ont été estimées pour chacun des éléments mesurés par des analyses répétées des matériaux de références standards PACS-2 et MESS-3 (tableau 2).

Tableau 2. Précisions et justesses analytiques des mesures de chacun des éléments telles que déterminées par des analyses répétées des matériaux de référence standards PACS-2 et MESS-3 (calculées à partir des écarts types).

	Valeur certifiée	Valeur moyenne mesurée	Nombre de mesures	Précision (%)	Justesse (%)
PACS-2					
As ($\mu\text{g g}^{-1}$)	26,2 \pm 1,5	23 \pm 2	11	9	12
Mn (mg g^{-1})	440 \pm 19	433 \pm 17	11	4	2
S (%)	1,29 \pm 0,13	1,24 \pm 0,46	11	4	4
Fe (%)	4,09 \pm 0,06	4,10 \pm 0,15	11	4	0,3
Al (%)	6,62 \pm 0,32	6,19 \pm 0,33	11	5	6
C _{ORG} (%)	3,26 \pm 0,10	3,34 \pm 0,14	6	4	3
MESS-3					
As ($\mu\text{g g}^{-1}$)	21,2 \pm 1,1	20 \pm 1	11	7	3
Mn (mg g^{-1})	324 \pm 12	318 \pm 7	11	2	2
S (%)	0,190	0,180 \pm 0,006	11	3	5
Fe (%)	4,34 \pm 0,11	4,26 \pm 0,12	11	3	2
Al (%)	8,59 \pm 0,23	8,17 \pm 0,34	11	4	5
C _{ORG} (%)	2,14 \pm 0,03	2,07	1	-	-

2.3 Mesure du S inorganique réduit

Un protocole de lixiviations séquentielles a été suivi pour mesurer trois fractions définies opérationnellement de S inorganique réduit dans les sédiments. Ce protocole, mis au point par Lise Rancourt de l'INRS, est directement inspiré des travaux de Canfield *et al.* (1986), Hsieh et Yang (1989) et Hsieh *et al.* (2002). Il consiste à agiter successivement le sédiment avec des réactifs qui convertissent des fractions du S sédimentaire en H₂S, lequel est ensuite entraîné par un courant d'azote, piégé dans une solution de NaOH 0,25 N et mesuré par dosage colorimétrique (Cline, 1969).

Plus spécifiquement, environ 0,5 g de sédiment humide à peine décongelé a été pesé précisément et placé dans un réacteur en Teflon avec 50 mL d'eau déminéralisée désoxygénée, contenant 100 µL de NaOH 1 N. Le sédiment est alors agité avec 1 mL d'acide ascorbique et 10 mL de HCl 6 N ajoutés au réacteur avec une seringue. Ce premier traitement a pour but d'extraire le S se trouvant sous la forme de monosulfure de fer (FeS amorphe, mackinawite, greigite peu cristallisée) et de sulfures de métaux traces, ces derniers étant toutefois présumés être beaucoup moins abondants que le monosulfure de Fe. Dans la littérature on utilise l'abréviation AVS (pour *acid volatile sulfide*) pour identifier le S ainsi extrait; dans ce texte on le dénotera S_{AVS}. Le résidu de la première lixiviation est alors attaqué avec 7,5 mL d'une solution Cr(II) préparée selon la méthode décrite ci-dessous. Ce deuxième traitement permet d'extraire principalement le S de la pyrite (FeS₂). On identifie généralement le S ainsi extrait par l'abréviation CRS (pour *chromium reducible sulfide*); dans le présent travail on le dénotera S_{CRS}. Pour extraire le S élémentaire (S_{ES}), le résidu de la deuxième lixiviation a alors été agité avec 10 mL de diméthylformamide, 2,5 mL de la solution de Cr(II) et 2,5 mL de HCl concentré.

Soulignons que chaque solution de réactifs a préalablement été désoxygénée en y faisant barboter de l'azote. L'eau déminéralisée désoxygénée avait de plus été bouillie au préalable. Suite aux ajouts de réactifs, la mixture obtenue a été agitée pendant 45 minutes en maintenant un débit d'azote d'environ 5 à 8 bulles à la seconde, puis, pendant 10 minutes, à un débit diminué d'environ 4 à 7 bulles à la seconde. Pour obtenir la solution de Cr(II), une solution de Cr(III) 2 M en présence de HCl (0,5 N) a d'abord été préparée avec du CrCl₃·6H₂O et de l'eau déminéralisée désoxygénée. Le Cr(III) a été

réduit en Cr(II) en passant cette solution dans une colonne de zinc amalgamé à du mercure. La solution de Cr(II) obtenue suite à cette manipulation a alors été conservée dans une bouteille étanche placée dans une boîte à gants.

Les dosages de S ont été effectués par la méthode colorimétrique de Cline (1969). Une solution de chlorure ferrique a d'abord été préparée en dissolvant 6 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dans 250 mL de HCl 6 N. Une solution de bleu de méthylène a aussi été préparée en ajoutant 4 g de sulfate de N,N-diméthyl-p-phénylènediamine (masse moléculaire de $234,3 \text{ g mol}^{-1}$) à une solution de H_2SO_4 . Ces solutions ont été conservées au réfrigérateur. Les colorations des échantillons à analyser ont été effectuées en ajoutant, à 10 mL d'échantillon, soit à la solution de NaOH, 0,4 mL de la solution de chlorure ferrique et 0,4 mL de la solution de bleu de méthylène. L'absorbance à 670 nm a été mesurée après avoir laissé se développer la coloration de la solution pendant 30 minutes. Des solutions de NaOH (0,25 N) contenant 0, 0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10, 20 et 50 μM de sulfure ont servi à construire une droite d'étalonnage; elles avaient été préparées à partir d'une solution de Na_2S .



3. RÉSULTATS

Les teneurs en As dans les sédiments de l'océan Arctique varient fortement à la fois spatialement entre les zones spécifiques d'étude et en fonction de la profondeur sous l'interface eau-sédiment. L'écart entre la plus forte valeur ($174 \mu\text{g g}^{-1}$) et la plus faible ($6 \mu\text{g g}^{-1}$) atteint notamment plus d'un ordre de grandeur. Dans ce chapitre, les profils des teneurs en C organique, S total, S inorganique réduit, Mn, Fe et As sont décrits dans l'ordre indiqué. Étant donné le nombre important de stations, les résultats sont illustrés sur 7 figures différentes (figures 2 à 8). Les figures ont été construites de manière à regrouper ensemble des carottes généralement proches les unes des autres dans une même zone. Toutes les données sont en outre rapportées sous forme de tableaux en annexe.

3.1. C organique

Les teneurs en C_{ORG} sont comprises entre 0,1% (station E4 dans le bassin du Canada; figure 7) et 2,4% (station UTN7 dans la mer des Tchouktches; figure 3).

Les valeurs les plus élevées se retrouvent dans les carottes du plateau continental et de sa pente dans les mers de Béring (figure 2) et des Tchouktches (figures 3 et 4), dans le canyon Barrow (figure 5) et dans la mer de Beaufort (figure 6). Dans ces carottes, les teneurs en C_{ORG} sont comprises entre 1,5% et 2,4% au voisinage de l'interface eau-sédiment mais diminuent ensuite en fonction de la profondeur. Cette diminution est de l'ordre de 20 à 60% dépendamment des stations.

Dans les sédiments prélevés aux stations plus profondes que 2000 m dans l'océan Arctique abyssal, de même qu'aux stations TC (630 m) et E4 (850 m) sur la pente continentale, pratiquement à la limite des mers des Tchouktches et de Sibérie orientale, les teneurs en C_{ORG} sont par contre nettement plus faibles (figures 7 et 8). De l'ordre d'environ 1% dans les sédiments de surface, elles diminuent ensuite en fonction de la profondeur pour devenir inférieures à 0,5% en bas de carotte, parfois même inférieures à 0,2%.

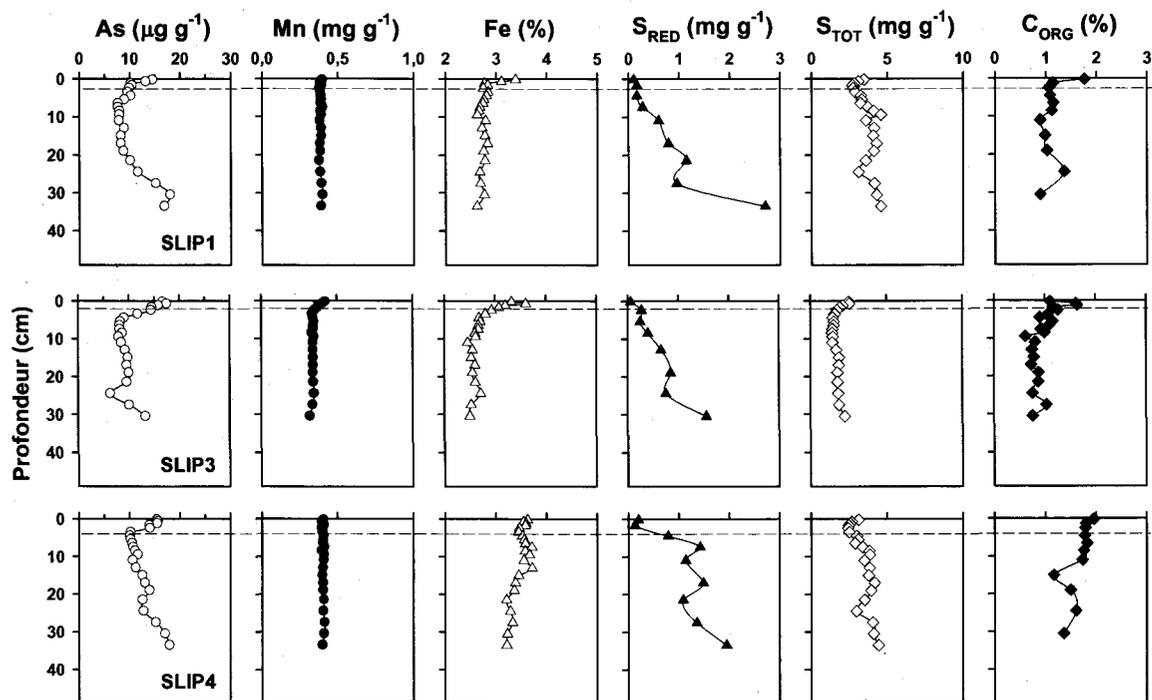


Figure 2. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, SRED, STOT et CORG dans les sédiments des stations SLIP1, SLIP3 et SLIP4 dans de la mer de Béring. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3)

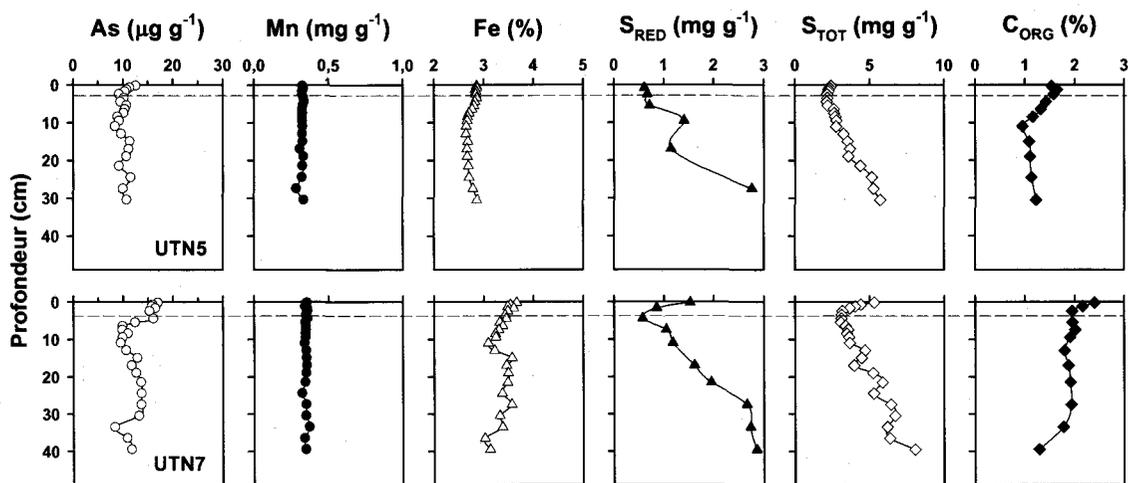


Figure 3. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S_{RED} , S_{TOT} , et C_{ORG} dans les sédiments des stations UTN5 et UTN7 dans la mer des Tchouktches. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3)

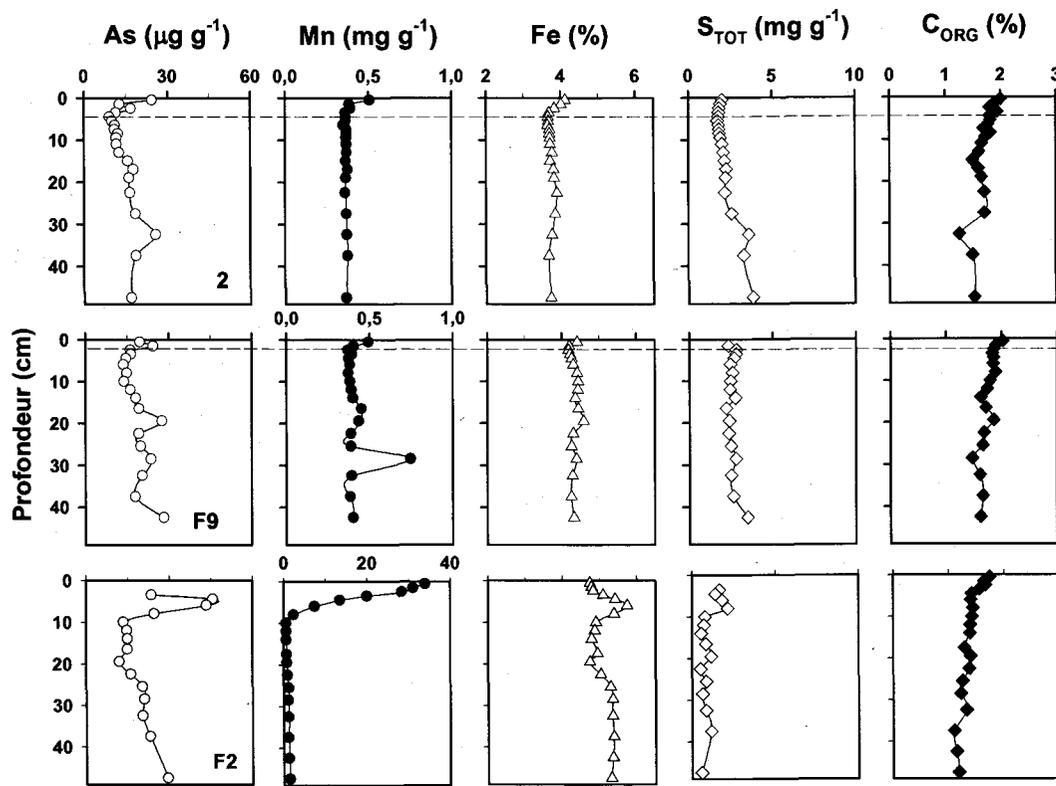


Figure 4. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S_{TOT} et C_{ORG} dans les sédiments des stations 2, F9 et F2 dans la mer des Tchoukches. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3)

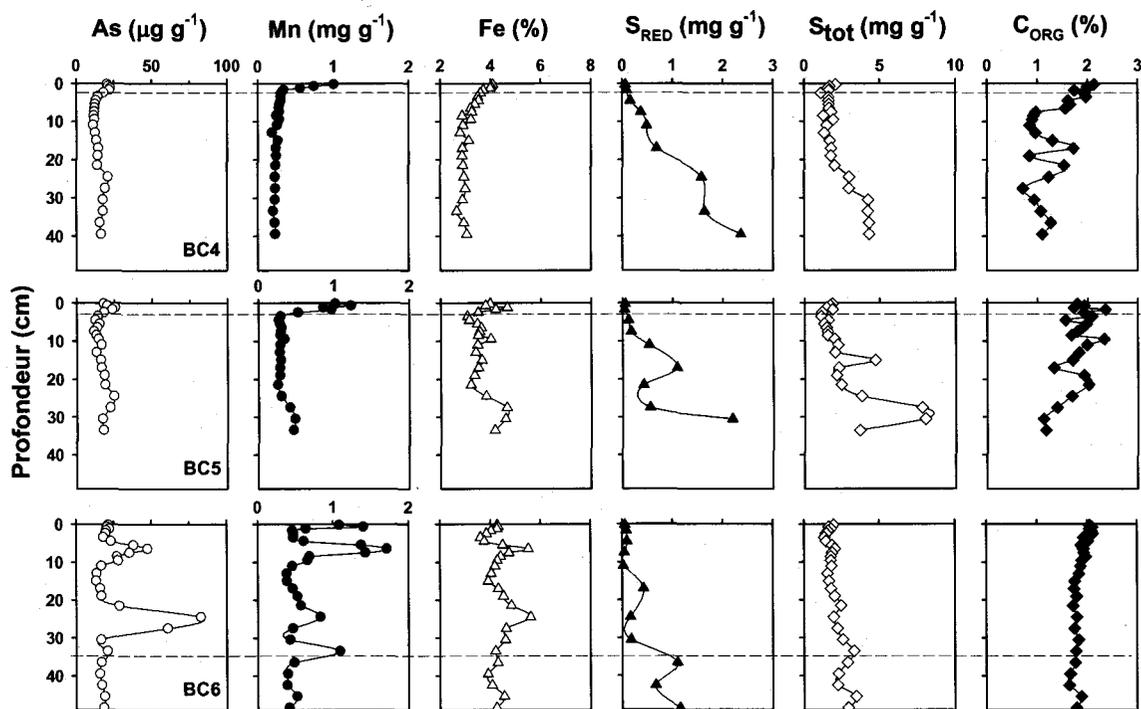


Figure 5. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S_{RED} , S_{TOT} et C_{ORG} dans les sédiments des stations BC4, BC5 et BC6 dans le canyon Barrow. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3)

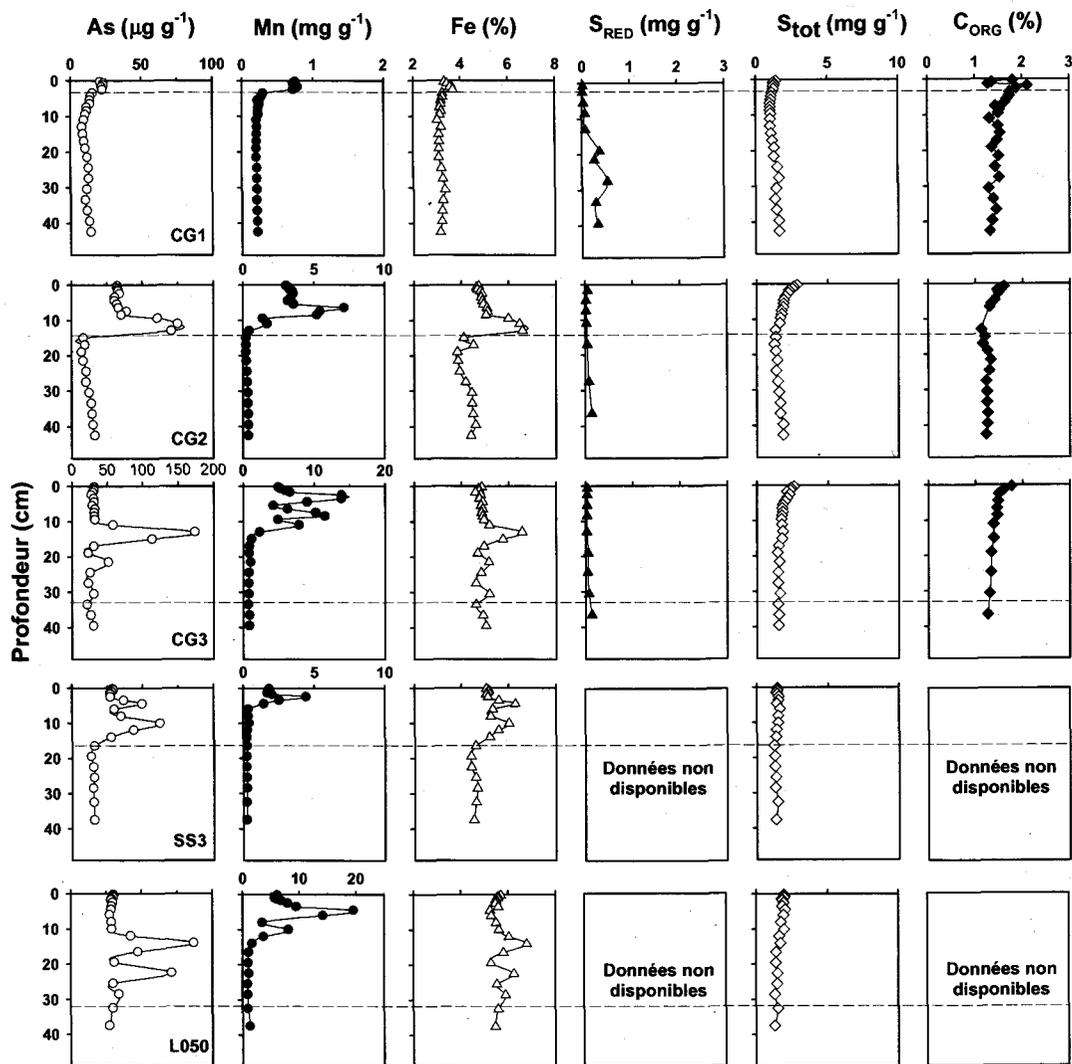


Figure 6. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S_{RED} , S_{TOT} et C_{ORG} dans les sédiments des stations CG1, CG2, CG3, SS3 et L050 dans la mer de Beaufort. La ligne horizontale pointillée représente approximativement la limite inférieure de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe (voir section 4.3)

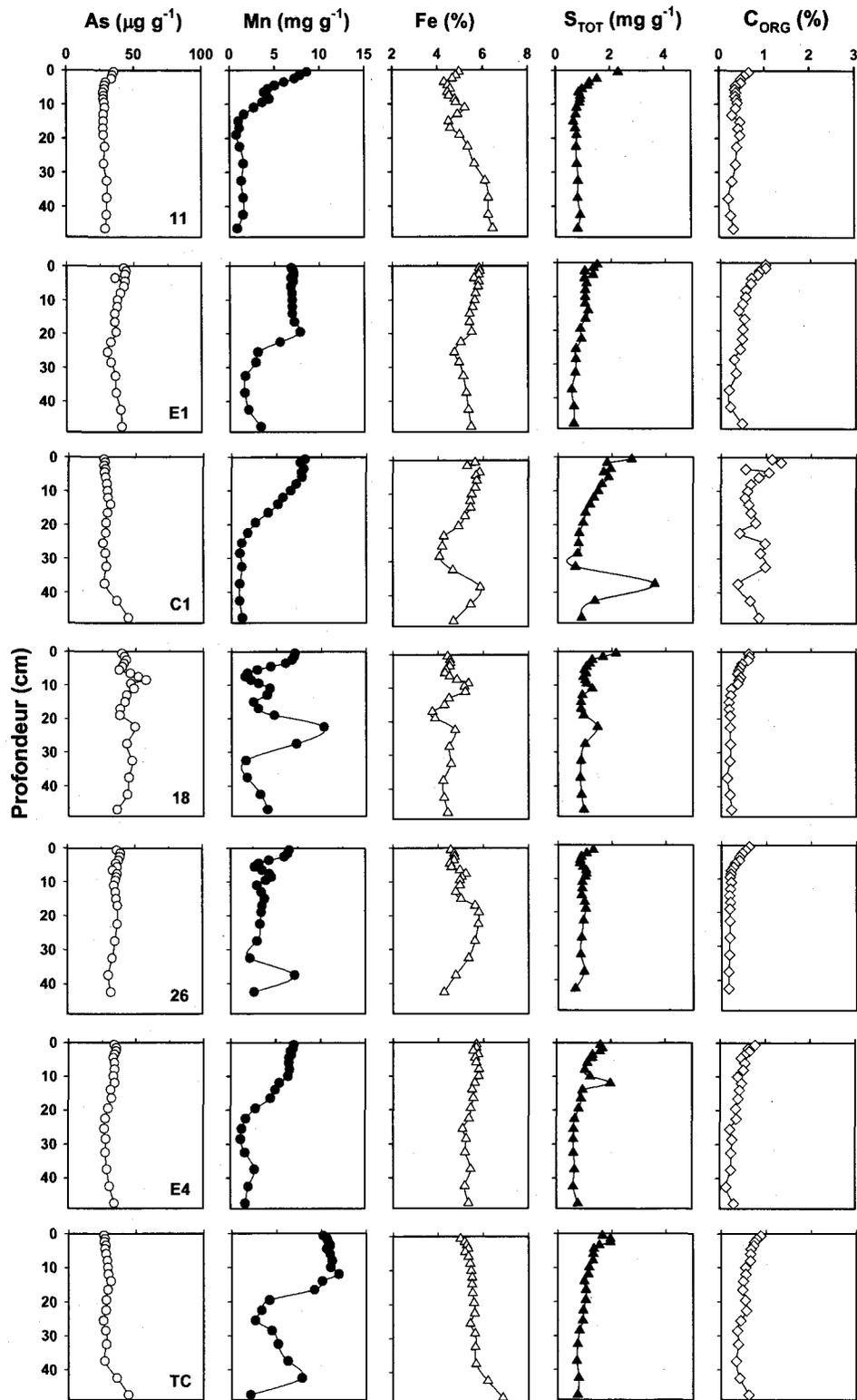


Figure 7. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S_{TOT} et C_{ORG} dans les sédiments des stations E4, TC, 11, E1, C1, 18 et 26 dans le bassin du Canada.

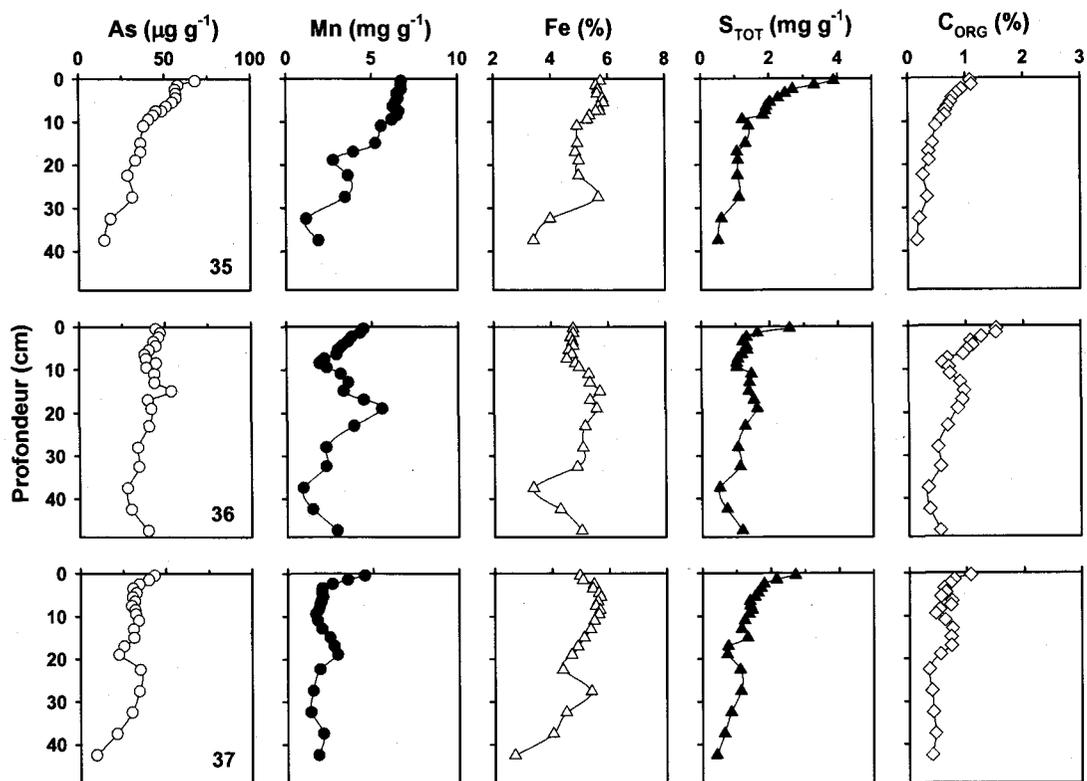


Figure 8. Profils verticaux des teneurs en As, Mn, Fe, S_{TOT} et C_{ORG} dans les sédiments des stations 35, 36 et 37 du bassin eurasiatique.

3.2. S total

Les teneurs les plus faibles en S_{TOT} se retrouvent dans les sédiments des stations où les teneurs en C_{ORG} sont également les plus faibles, soit les stations profondes du bassin eurasien et du bassin du Canada et les stations TC et E4 (figures 7 et 8). À ces stations, les profils de S_{TOT} affichent une tendance similaire à celle qu'on observe pour le C_{ORG} , c'est-à-dire une décroissance marquée en fonction de la profondeur. Les teneurs en S_{TOT} sont typiquement de 1,5-3,9 $mg\ g^{-1}$ en surface et de moins de 1 $mg\ g^{-1}$ en bas de carotte.

Par contre, dans la marge continentale (figures 2 à 6), des tendances distinctes sont observées dans les profils de S_{TOT} et de C_{ORG} . Tandis que le C_{ORG} diminue en fonction de la profondeur sur toute la longueur des carottes, le S_{TOT} diminue seulement dans la portion comprise entre l'interface eau-sédiment et 2-5 cm de profondeur; sous cet horizon le S_{TOT} tend ensuite à augmenter jusqu'en bas de carotte. Cette tendance est plus marquée dans les sédiments provenant des mers de Béring et des Tchouktches (figures 2 et 3), de même que dans ceux du canyon Barrow (figure 5). Par exemple à la station UTN7, le S_{TOT} diminue de 5,3 à 3,3 $mg\ g^{-1}$ entre 0 et 2 cm de profondeur, puis augmentent jusqu'à plus de 8 $mg\ g^{-1}$ en bas de carotte. Les stations CG3, L50 et SS3 font cependant exception à cette tendance générale observée dans toutes les autres carottes de marge. Aux stations CG3, L50 et SS3 (figures 6), les teneurs en S_{TOT} diminuent d'abord avec la profondeur puis demeurent constantes jusqu'en bas de carotte

3.3. S inorganique réduit

Les teneurs en soufre inorganique réduit sous les formes S_{AVS} , S_{CRS} et S_{ES} furent mesurées dans les 11 carottes prélevées en 2007. Les résultats des analyses effectuées sont tous rapportés en annexe. Dans toutes les carottes, les teneurs en S_{AVS} , S_{CRS} et S_{ES} tendent à augmenter avec la profondeur. Les proportions des différentes formes sont en général assez variables dans les sédiments de surface mais la forme S_{CRS} est celle qui domine dans la partie profonde des carottes; elle y représente généralement de 60% à 90% du S inorganique total réduit (S_{RED}), soit $S_{RED} = S_{AVS} + S_{CRS} + S_{ES}$.

Les profils du S_{RED} sont illustrés sous forme graphique aux figures 2, 3, 5 et 6. Les teneurs les plus élevées en S_{RED} se retrouvent aux stations UTN5 et UTN7 dans la mer des Tchouktches (figure 3). Elles y atteignent respectivement 0,5 $mg\ g^{-1}$ et 1,5 $mg\ g^{-1}$

dans les sédiments de surface (0-1 cm) et tendent ensuite à augmenter avec la profondeur, devenant supérieures à $2,5 \text{ mg g}^{-1}$ en bas de carotte. Les sédiments des stations SLIP1, SLIP3 et SLIP4 dans la mer de Béring (figure 2), de même que ceux des stations BC4, BC5 et BC6 dans le canyon Barrow (figure 5), ont aussi des teneurs relativement élevées en S_{RED} . Elles y atteignent $0,05 \text{ mg g}^{-1}$ dans les sédiments de surface et augmentent avec la profondeur, devenant de l'ordre de $1-2 \text{ mg g}^{-1}$ dans la partie profonde des carottes. Aux stations CG1, CG2 et CG3 dans la mer de Beaufort (figure 6), les teneurs en S_{RED} sont par contre plus faibles, en particulier aux stations CG2 et CG3 où elles n'excèdent jamais $0,5 \text{ mg g}^{-1}$.

Il est à souligner que les fortes augmentations en S_{RED} en fonction de la profondeur s'observent aux stations où les augmentations en S_{TOT} avec la profondeur sont également les plus accentuées. Par exemple, aux stations UTN5 et UTN7 (figure 3), les teneurs en S_{RED} augmentent respectivement de $0,7$ à $2,8 \text{ mg g}^{-1}$ et de $0,6$ à $2,7 \text{ mg g}^{-1}$ entre 5 et 35 cm de profondeur, alors que celles en S_{TOT} augmentent respectivement de $2,2$ à $5,7 \text{ mg g}^{-1}$ et de $3,1$ à $6,2 \text{ mg g}^{-1}$ dans les mêmes intervalles de profondeurs. Ainsi, une part importante de l'augmentation du S_{TOT} avec la profondeur est due à la présence de plus en plus en plus grande avec la profondeur de S inorganique réduit dans les sédiments. Il est à noter qu'aux stations CG1, CG2 et CG3 (figure 6), où les teneurs en S_{RED} augmentent peu en bas de carotte, les augmentations en S_{TOT} sous l'interface sont également peu marquées.

3.4. Mn

Les teneurs en Mn mesurées sont comprises entre $0,3$ et 35 mg g^{-1} et varient donc par environ deux ordres de grandeur. Les teneurs en Mn les plus faibles ont été mesurées dans les sédiments des carottes des mers de Béring et des Tchouktches (stations SLIP1, SLIP3, SLIP4, UTN5 et UTN7, 2 et F9; figures 2, 3 et 4). Dans ces carottes, les teneurs en Mn sont toujours inférieures à $0,4 \text{ mg g}^{-1}$ (à l'exception d'une seule valeur) et varient peu en fonction de la profondeur. Comme mentionné précédemment, ces mêmes carottes comprennent des teneurs en C_{ORG} et S_{RED} relativement élevées.

Les teneurs en Mn sont également peu élevées, voire inférieures à $0,4 \text{ mg g}^{-1}$, dans les parties profondes de toutes les autres carottes de la marge continentale (stations BC4,

BC5, BC6, CG1, CG2, CG3, SS3, L050 et F2; figures 4 à 6). Par contre, dans toutes ces mêmes carottes, les teneurs en Mn sont nettement plus élevées dans une couche de sédiments de surface d'épaisseur variable. Les teneurs atteignent de 1 à 2 mg g⁻¹ aux stations BC4, BC5, BC6 et CG1 et de 10 à 35 mg g⁻¹ aux stations CG2, CG3, SS3, L050 et F2. Ces teneurs élevées sont concentrées dans les 2 premiers cm aux stations BC4, BC5 et CG1 mais persistent jusqu'à plus de 10 cm aux stations CG2, CG3, SS3, L50 et F2 (voire plus pour la station BC6).

Enfin, contrairement à ce qu'on observe dans toutes les carottes de marge continentale, des teneurs en Mn aussi faibles que 0,5 mg g⁻¹ ne sont jamais observées dans les carottes E4 et TC et dans celles du bassin du Canada et du bassin eurasiatique, et ce, même à plus de 40 cm de profondeur (figures 7 et 8). Les profils exhibent plusieurs pics de teneurs élevées en Mn se trouvant à des profondeurs variables. Tel que déjà rapporté par Gobeil *et al.* (1997; 2001), les teneurs atteignent souvent plus de 10 mg g⁻¹

3.5. Fe

Les teneurs en Fe varient entre 2,5% et 6,9%. Les teneurs les plus faibles (moins de 5%) sont observées dans les sédiments des mers de Béring et des Tchouktsches où on constate également les plus faibles teneurs en Mn (stations SLIP1, SLIP3, SLIP4, UNT5, UTN7, 2 et F9; figures 2, 3 et 4). Dans les sédiments de ces régions, les teneurs en Fe tendent à diminuer un peu sous l'interface eau-sédiment, puis, à augmenter légèrement en fonction de la profondeur. Aux autres stations de la marge continentale (figures 4, 5 et 6), les profils en Fe dans les sédiments montrent des variations plus prononcées, souvent avec des pics de teneurs maximales près de la base de la couche enrichie en Mn, voire par exemple les résultats pour les stations CG2, CG3, SS3 et L50, toutes situées dans la mer de Beaufort (figure 6).

On peut également noter que, comme c'est aussi le cas pour les teneurs en Mn, les teneurs en Fe varient de façon assez importante en fonction de la profondeur dans les sédiments du bassin du Canada et du bassin eurasiatique et dans ceux des stations E4 et TC (figures 7 et 8). Par exemple, elles diminuent d'environ 50% entre l'interface eau-sédiment et 40 cm de profondeur aux stations 35 et 37.

3.6. As

Les teneurs mesurées en As fluctuent entre 6,3 et 174 $\mu\text{g g}^{-1}$; la valeur la plus élevée est donc 27 fois supérieure à la valeur la plus faible.

Dans la partie supérieure de toutes les carottes de la marge continentale (figures 2 à 6), les variations des teneurs en As tendent à suivre celles du Fe. Les maximums en As coïncident généralement avec les maximums en Fe, ce qui est particulièrement évident aux stations CG2, CG3, SS3 et L50 (figure 6). Systématiquement dans toutes les carottes de la marge continentale, c'est à la base de la couche de surface enrichie en Fe, dont l'épaisseur est très variable, que les teneurs en As sont les plus faibles (généralement moins de 10 $\mu\text{g g}^{-1}$). Ces dernières augmentent ensuite avec la profondeur d'une manière similaire aux teneurs en S_{RED} et, plus l'épaisseur de la couche de surface enrichie en Fe est petite, plus les augmentations en As et en S_{RED} avec la profondeur sont importantes. Ceci est particulièrement évident lorsqu'on compare les résultats des trois stations SLIP (figure 2) à ceux des trois stations CG (figure 6).

Dans les sédiments des stations E4 et TC et dans ceux des bassins abyssaux (figures 7 et 8), les teneurs maximales en As ne sont pas aussi élevées que celles mesurées dans les couches de sédiments très enrichies en Fe de la marge continentale. Cependant, contrairement à ce qu'on observe dans la marge, où les teneurs sont souvent inférieures à 10 $\mu\text{g g}^{-1}$, les teneurs en As dans les sédiments de l'océan Arctique profond sont généralement supérieures à 25 $\mu\text{g g}^{-1}$.

4. DISCUSSION

4.1. Enrichissement des sédiments en arsenic

Les teneurs en As dans les sédiments analysés pour cette étude sont généralement comparables à celles mesurées dans les sédiments marins. Dans des articles de compilation récents, Reimann *et al.* (2009) et Wang et Mulligan (2006) rapportaient notamment que les teneurs en As dans les sédiments marins varient entre environ 5 et 110 $\mu\text{g g}^{-1}$. Les teneurs que nous avons mesurées, dont la moyenne (± 1 écart type) est de $26 \pm 15 \mu\text{g g}^{-1}$ ($n=546$), sont aussi très comparables à celles publiées dans la littérature scientifique spécifiquement pour les sédiments de l'océan Arctique. Des teneurs se situant entre environ 5 et 40 $\mu\text{g g}^{-1}$ ont effectivement été trouvées dans les sédiments au large de l'Alaska (Trefry *et al.*, 2003; Valette-Silver *et al.*, 1999) et plusieurs auteurs ont mesuré des teneurs variant pour la plupart entre 5 et 150 $\mu\text{g g}^{-1}$ dans des sédiments provenant des mers de Kara, de Pechora, de Laptev et de Sibérie orientale (Crane *et al.*, 2001; Galasso *et al.*, 2000; Guo *et al.*, 2004; Loring, 1995; Loring *et al.*, 1998; Presley, 1997; Siegel *et al.*, 2001a; Siegel *et al.*, 2001b). Quelques valeurs extrêmes (plus de 300 $\mu\text{g g}^{-1}$) ont été occasionnellement détectées dans les mers de Kara et de Pechora (Galasso *et al.*, 2000; Siegel *et al.*, 2001a; Siegel *et al.*, 2001b). Les teneurs en As dans les sédiments de l'océan Arctique sont toutefois beaucoup plus élevées que la teneur moyenne en As dans la croûte terrestre supérieure, estimée à 2 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Turekian et Wedepohl, 1961; Wedepohl, 1995), valeur souvent citée dans des articles de revue portant spécifiquement sur la distribution de l'arsenic dans l'environnement (Bissen et Frimmel, 2003; Matschullat, 2000). Elles sont également supérieures à celles des schistes argileux¹ marins, dont la teneur moyenne est de l'ordre de 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ selon plusieurs auteurs (Borchers, 2005; Gromet *et al.*, 1984; Tourtelot, 1964; Turekian et Wedepohl, 1961; Wedepohl, 1995). Les teneurs les plus élevées en As mesurées dans le présent travail sont notamment jusqu'à plus de 15 fois supérieures à cette valeur.

¹ Roches sédimentaires à grains fins qui sont le résultat de la déposition de fines particules (argiles ou boues) transportées principalement par l'eau.

De manière à mieux apprécier l'enrichissement d'un élément dans un échantillon de la lithosphère, il est de pratique courante en géochimie de comparer la valeur du rapport des teneurs de l'élément et de l'Al dans l'échantillon à celle du même rapport dans les schistes argileux. Selon les auteurs déjà cités, le rapport massique As/Al dans les schistes argileux est de $1,1 \times 10^{-4}$ (g g^{-1}) selon Borchers (2005), de $1,6 \times 10^{-4}$ selon Turekian et Wedepohl (1961) et de $1,3 \times 10^{-4}$ selon Gromet et al. (1984). Nous considérons ci-dessous que le rapport massique As/Al moyen dans les schistes argileux est de $1,3 \times 10^{-4}$.

Les profils du rapport massique As/Al à chacun de nos sites de prélèvement sont illustrés sur la figure 9. Les valeurs de ce rapport oscillent entre environ 0,8 et 21×10^{-4} , et leur moyenne (± 1 écart type) est de $3,3 \pm 1,7 \times 10^{-4}$ ($n=546$). Les valeurs qui sont les plus élevées apparaissent quelques cm sous l'interface eau-sédiment, dans les couches de sédiments les plus enrichies en Fe des carottes de marge continentale. Dans ces carottes, voir notamment BC6, GC2, CG3 et L50 (figure 9 pour le rapport As/Al et figures 5 et 6 pour le Fe), le rapport As/Al est de 10 à 22 fois supérieur à celui des schistes argileux. C'est à proximité de la base de la couche de surface enrichie en Fe dans toutes les carottes de marge, que les valeurs du rapport As/Al sont les plus faibles; celles-ci sont alors souvent semblables, même légèrement inférieures, au rapport moyen des schistes argileux (voir par exemple SLIP1, 2, CG1; figure 9). Sous la couche enrichie en Fe dans les carottes de marge, le rapport As/Al augmente avec la profondeur dans les sédiments atteignant des valeurs généralement de 2 à 5 fois supérieures à la valeur moyenne des schistes argileux. Dans les carottes de bassin (bassin du Canada et bassin eurasién), les profils du rapport As/Al ne montrent pas de pics de concentrations aussi prononcés que ceux observés dans les carottes de marges. Les valeurs du rapport As/Al dans les sédiments des bassins sont néanmoins généralement de 4 à 8 fois supérieures au rapport moyen des schistes argileux. Les données de la présente étude, comme celles d'autres auteurs pour des régions différentes de l'océan Arctique, contribuent donc à démontrer que les sédiments de l'océan polaire sont fortement enrichis en As par rapport aux schistes argileux.

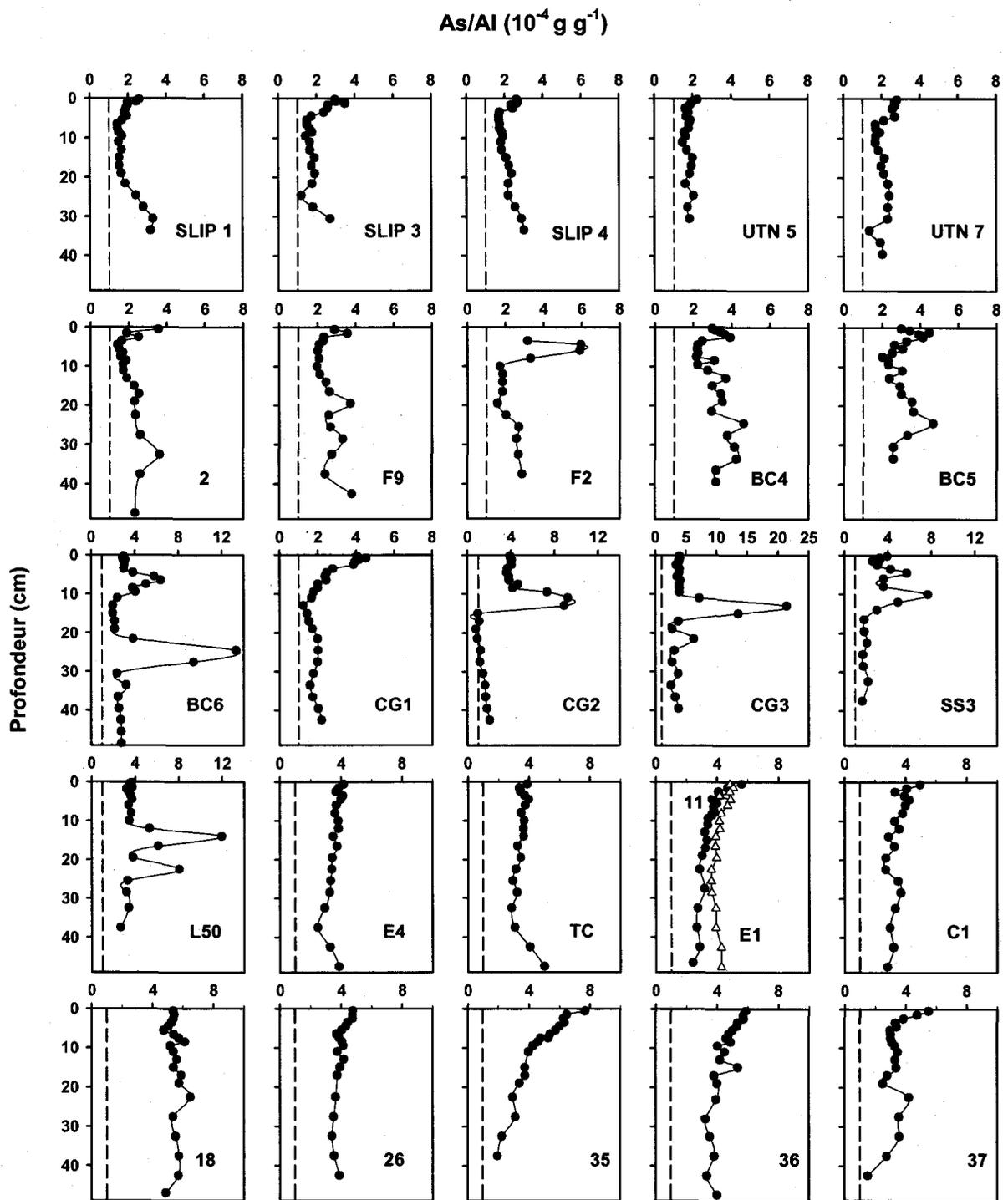


Figure 9. Profil vertical du rapport massique As/Al dans toutes les carottes de sédiments. La ligne pointillée représente la valeur moyenne probable de ce rapport pour les schistes argileux ($1,3 \times 10^{-4}$) selon la littérature (voir texte).

4.2. Origine des teneurs élevées en arsenic dans les sédiments

Des auteurs ont suggéré que les teneurs élevées en As dans les sédiments de l'océan Arctique puissent être dues en partie à l'activité humaine (Loring, 1995; Siegel *et al.*, 2001b). La présence de teneurs simultanément élevées en As et de radionucléides ($^{239,240}\text{Pu}$ et ^{137}Cs) dans de mêmes échantillons de sédiments de la mer de Pechora ont notamment amené Loring *et al.* (1995) à considérer que des explosions nucléaires sous-marines qui eurent lieu entre 1955 et 1961 puissent avoir été à l'origine d'une contamination non négligeable en As dans cette région. Siegel *et al.* (2001b) ont aussi souligné que de l'As d'origine anthropique aurait pu se répandre en milieu marin suite à une mauvaise gestion des déchets chimiques militaires stockés par l'ex-URSS dans la région de la mer de Kara entre les années 1940 et 1950. La *Lewisite* (2, chlorovinyl dichlorarsine), laquelle contient 35% d'As, était notamment un de ces déchets chimiques de guerre. Par ailleurs, les sédiments de l'océan Arctique pourraient aussi avoir été contaminés par de l'As d'origine anthropique aéroporté sur de longues distances depuis des zones de fortes activités humaines puis déposé à la surface terrestre (Crane *et al.*, 2001). On peut en effet rappeler qu'à l'échelle globale, les émissions d'As d'origine anthropique dans l'atmosphère ont été plus importantes que les émissions de sources naturelles au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle (Nriagu, 1989). Les procédés pyrolytiques utilisés pour la production de métaux non-ferreux et la combustion des carburants fossiles (principalement celle du charbon) représentaient les sources de contamination en As les plus importantes pour l'atmosphère (Nriagu et Pacyna, 1988).

Bien qu'on ne puisse évaluer précisément le contenu en As anthropique dans les sédiments de l'océan Arctique que nous avons analysés pour la présente étude, celui-ci est vraisemblablement très faible. D'une part, aucune information ne suggère que des sources locales de contamination puissent avoir affectées les régions où nous avons effectué nos prélèvements. D'autre part, les quantités totales dans la colonne de sédiment (inventaires) d'As non lithogène sont trop importantes pour être dues à des apports aéroportés.

La teneur en As non lithogène dans une couche de sédiment x (As_x^{NL}) et son inventaire dans la colonne de sédiment peuvent respectivement être calculés à partir des équations 1 et 2 ci-dessous :

$$As_x^{NL} = As_x^M - \left[Al_x^M \times \left(\frac{As}{Al} \right)_{SCHISTE} \right] \quad (1)$$

$$\sum_{x=1}^{x=n} As_x^{NL} = (1 - \phi_x) \times h_x \times \rho \quad (2)$$

où As_x^M et Al_x^M sont respectivement les teneurs mesurées en As et Al dans les sédiments de la couche x , $\left(\frac{As}{Al} \right)_{SCHISTE}$ est le rapport massique moyen de l'As et de l'Al dans les schistes argileux ($1,3 \times 10^{-4}$), n est le nombre total de couches dans la colonne de sédiment, ϕ_x est la porosité mesurée dans les sédiments de la couche x (données rapportées en annexe), h_x est l'épaisseur de la couche x et ρ la densité du sédiment sec que l'on présume égale à $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (Burdige, 2006). Pour pouvoir comparer les sites entre eux, les inventaires en As^{NL} ont tous été calculés pour une colonne de sédiment de 40 cm de longueur; notons que les données ont été extrapolées lorsque la longueur des carottes était inférieure à 40 cm.

Tel qu'illustrés à la figure 10, les inventaires en As^{NL} entre l'interface eau-sédiment et 40 cm de profondeur dans les carottes de sédiments que nous avons analysées varient entre environ 200 et 1200 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Dans l'ensemble, les valeurs sont plus faibles dans les carottes des marges que dans celles des bassins; cette différence sera discutée dans la section suivante. Les moyennes (± 1 écart type) sont respectivement de 376 (± 198) $\mu\text{g cm}^{-2}$ ($n=16$) et de 821 (± 187) $\mu\text{g cm}^{-2}$ ($n=10$) pour les carottes de marge et pour celles de bassin. Or, ces moyennes sont respectivement 80 et 180 fois supérieures aux inventaires totaux d'As d'origine anthropique accumulé dans les sédiments de lacs du sud Québec depuis le début de l'ère industrielle en Amérique du Nord (Couture *et al.*, 2008; Couture *et al.*, 2010). Selon les derniers auteurs cités, ces inventaires sont de l'ordre de 60 nmol cm^{-2} (soit $\sim 5 \mu\text{g cm}^{-2}$). Ainsi, bien que cette comparaison ne permette

pas de conclure qu'il y a absence d'As anthropique dans les sédiments de l'océan Arctique que nous avons analysés, elle suggère que les apports aéroportés d'As d'origine anthropique ne sont pas la cause des enrichissements en As que nous avons détectés dans les sédiments et n'expliquent pas non plus les variations des teneurs en As observées entre les zones d'étude et en fonction de la profondeur dans les sédiments. Ces dernières sont donc dues à des processus naturels.

4.3. Association de l'arsenic avec les oxyhydroxydes de fer

Une part de l'enrichissement en As que nous observons dans les sédiments de l'océan Arctique est vraisemblablement due à l'adsorption de l'As sur les oxyhydroxydes de Fe contenus dans les sédiments. La forte affinité de l'As pour les oxyhydroxydes de Fe a notamment été démontrée dans des expériences de sorption en laboratoire sous diverses conditions de pH et de concentrations en As, en adsorbant et en ions compétitifs (Dixit et Hering, 2003; Pierce et Moore, 1982; Wilkie et Hering, 1996). Ces travaux ont entre autres indiqué que l'efficacité d'adsorption varie selon la spéciation des oxyhydroxydes de Fe et la nature cristalline ou amorphe des composés. Des mesures en spectroscopie de rayons-X ont également révélé l'importance de l'interaction entre l'As et les oxyhydroxydes de Fe sous diverses conditions (Farquhar *et al.*, 2002; Manning *et al.*, 1998). L'adsorption *in situ* de l'As sur les oxyhydroxydes de Fe dans des lacs de différents pH a de plus été évaluée par Belzile et Tessier (1990), De Vitre *et al.* (1991) et Feyte *et al.* (soumis). Les auteurs ont utilisé des plaques de Teflon insérées dans les sédiments (Belzile *et al.*, 1989) pour prélever du matériel diagénétique principalement constitué d'oxyhydroxydes de Fe et de matière organique (Tessier *et al.*, 1996). À partir des résultats d'analyse du matériel diagénétique et de calculs thermodynamiques, ils ont inféré que l'As(V), essentiellement sous forme d'oxyanion, s'adsorbe préférentiellement sur les oxyhydroxydes de Fe plutôt que sur la matière organique du matériel diagénétique.

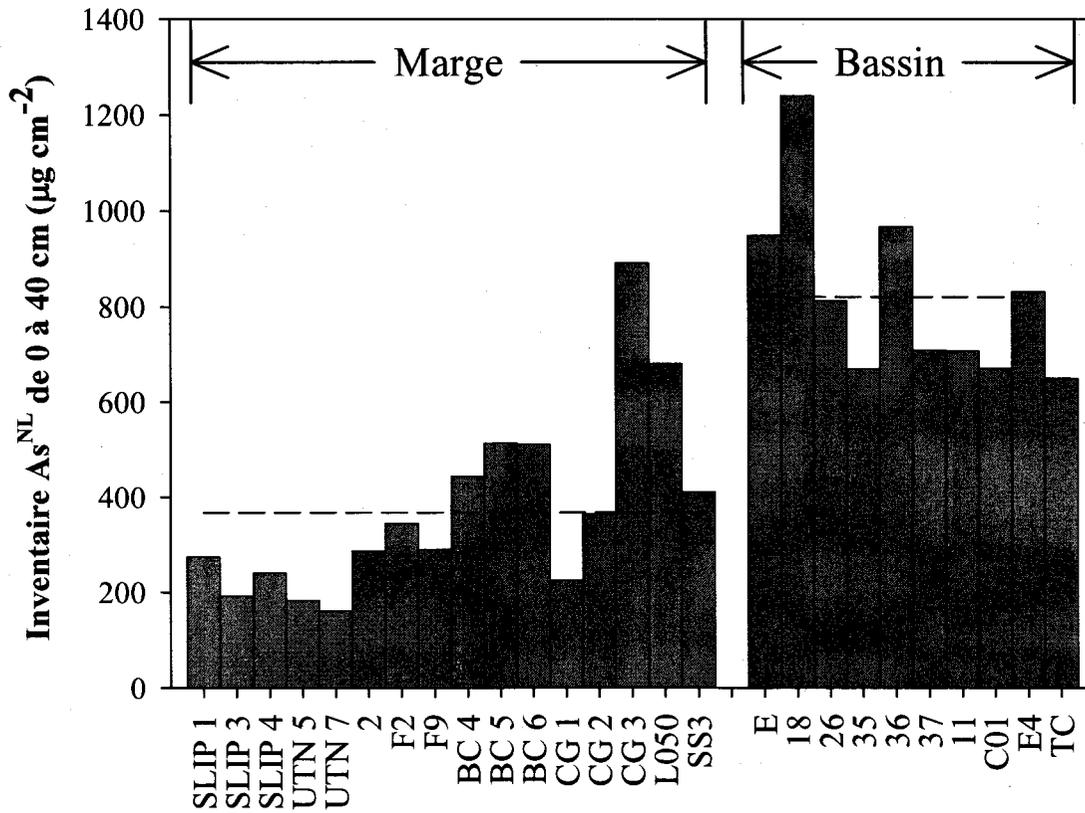


Figure 10. Contenu total (inventaire) dans chacune des carottes de l'As non lithogène (As^{NL}) entre 0 et 40 cm de profondeur. Les lignes pointillées représentent les moyennes pour les carottes de marge (à gauche) et de bassin (à droite).

L'adsorption de l'As sur les oxyhydroxydes de Fe est un mécanisme qui a aussi été invoqué pour expliquer des similitudes frappantes dans les profils en As et en Fe dans les eaux interstitielles et dans les sédiments. Belzile et Tessier (1990) et Couture *et al.* (2008) ont notamment rapporté des profils pour des lacs de différents pH qui exhibent des concentrations en As et en Fe plus élevées dans les eaux interstitielles que dans les eaux sus-jacentes aux sédiments. Leurs profils mettent de plus en évidence des gradients de concentrations suggérant que l'As est remobilisé dans les eaux interstitielles lors de la réduction dissolutive anaérobie des oxyhydroxydes de Fe et est fixé en phase solide dans la zone où les oxyhydroxydes de Fe se forment dans les sédiments de surface. Le rôle critique des oxyhydroxydes de Fe vis-à-vis de l'As a aussi été mis en évidence dans plusieurs études en milieu marin. Soulignons celles de Sullivan et Aller (1996) dans le delta de l'Amazone, de Peterson et Carpenter (1986) dans le Puget Sound, de Belzile (1988) dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent et de Mucci *et al.* (2000) dans le fjord du Saguenay. Dans toutes ces recherches, les observations montrent qu'il y a production d'As dissous dans la zone où les oxyhydroxydes de Fe sont réduits et consommation d'As dissous au voisinage de l'interface eau-sédiment où il y a formation d'oxyhydroxydes de Fe.

4.3.1. Carottes de marges

L'enrichissement en As pouvant être attribué à une association avec les oxyhydroxydes de Fe dans les carottes de marge se trouve dans une couche de sédiment de surface dont l'épaisseur est variable. La limite inférieure de cette couche peut être définie approximativement en examinant les profils du Mn, du Fe et du S (S_{TOT} et S_{RED}). Selon la thermodynamique (Froelich *et al.*, 1979), lors de l'oxydation anaérobie de la matière organique, la réduction des oxyhydroxydes de Fe est moins favorable selon la thermodynamique que celle des oxyhydroxydes de Mn mais plus que celle des sulfates. Ainsi, comme observée dans de nombreux milieux, la limite inférieure de la couche enrichie en oxyhydroxydes de Fe dans les sédiments doit théoriquement se situer sous la couche de surface enrichie en Mn, laquelle peut toutefois être quasi inexistante lorsque l' O_2 diffuse à peine dans les sédiments, mais au dessus de l'horizon à partir duquel la présence de S_{RED} commence à devenir importante. Tel qu'identifiée sur les figures 2, 3, 4,

5 et 6, dans la marge continentale arctique l'épaisseur de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe définie selon les considérations énoncées est de moins de 2-3 cm à plusieurs sites mais peut atteindre plus de 10-15 cm à d'autres sites.

Les carottes de marge pour lesquelles la couche de surface enrichie en Fe est de moins de 2-3 cm d'épaisseur (figures 2, 3 et 4) furent prélevées dans des régions où la productivité biologique est élevée, notamment dans les mers de Béring et des Tchoukches et dans le canyon Barrow (Grebmeier et Harvey, 2005; Springer *et al.*, 1996), et où on peut présumer que le taux de dépôt du C_{ORG} à l'interface eau-sédiment soit élevé. À de tels sites, on s'attend à ce que la profondeur de pénétration de l' O_2 dans les sédiments soit faible, que les oxyhydroxydes de Mn et de Fe soient à peine détectables ou concentrés dans une mince couche de surface et que du S inorganique réduit (S_{AVS} , S_{CRS} , S_{ES}), un produit de la réduction des sulfates indicateur d'une condition anoxique, soit déjà présent dans les sédiments à proximité de l'interface eau-sédiment. Étant donné que les oxyhydroxydes de Fe sont peu abondants dans les sédiments à de tels sites, les enrichissements en As dans les sédiments de surface y sont également plutôt modestes. Les stations exhibant de telles caractéristiques sont : SLIP1, SLIP3, SLIP4, UTN5, UTN7, CG1, BC4, BC5, 2 et F9 (figures 2, 3, 4 et 5).

Par contre, les carottes de marge pour lesquelles la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes Fe atteint plus de 10-15 cm d'épaisseur furent prélevées dans des régions où la productivité biologique est moins importante, notamment dans la mer de Beaufort (Macdonald *et al.*, 1998), et où on peut présumer que le taux de dépôt du C_{ORG} à l'interface eau-sédiment soit plus faible. À de tels sites, on s'attend alors à ce que l' O_2 pénètre plus profondément dans les sédiments, que des oxyhydroxydes de Mn et de Fe se forment également plus en profondeur dans les sédiments et que les teneurs en S réduit soient des plus faibles, voire à peine ou non détectables, à proximité de l'interface eau-sédiment. Étant donné l'abondance des oxyhydroxydes de Fe à de tels sites, les enrichissements en As dans les sédiments de surface doivent par conséquent y être assez importants. Les stations ayant de telles caractéristiques sont : F2, BC6, CG2, CG3, SS3 et L50 (figures 4, 5 et 6). Les plus fortes teneurs en As (jusqu'à $174 \mu g g^{-1}$) furent d'ailleurs

mesurées à ces stations; elles apparaissent dans les couches de sédiments où les teneurs en Fe sont également les plus élevées.

Les résultats de la présente étude indiquent donc que, dans les sédiments de la marge continentale arctique, la réduction des oxyhydroxydes de Fe lors de la dégradation aérobie de la matière organique, de même que la précipitation de ces composés dans la couche de surface aérobie, sont des réactions importantes. Cette conclusion est d'ailleurs conforme à celle avancée par différents auteurs ayant effectué des études dans d'autres régions de l'océan Arctique (Glud *et al.*, 2000; Kostka *et al.*, 1999; Nickel *et al.*, 2008; Rozanov *et al.*, 2006; Vandieken *et al.*, 2006). Cependant, le contenu en oxyhydroxydes de Fe dans les sédiments diffère spatialement de façon marquée, vraisemblablement en raison du flux variable de C_{ORG} à l'interface eau-sédiment. Or, puisque l'As a une forte affinité pour les oxyhydroxydes de Fe, ceci explique les enrichissements en As également variables dans les sédiments de surface selon les sites de prélèvement.

4.3.2. Carottes de bassin

Dans les sédiments des bassins abyssaux de l'océan Arctique, la totalité de l'enrichissement authigène en As pourrait être due à une association de l'As avec les oxyhydroxydes de Fe.

Dans un milieu peu productif comme l'océan Arctique intérieur ($\sim 10 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ selon Wheeler *et al.* (1996)), on s'attend en effet à ce que l' O_2 pénètre profondément dans les sédiments et que des oxyhydroxydes de métaux s'y forment et persistent jusqu'à plusieurs dizaines de cm sous l'interface eau-sédiment (Burdige, 1993). Dans un tel milieu, la réduction des sulfates est très faible, tel que le suggère l'absence complète d'augmentation en S_{TOT} dans la partie profonde de nos carottes du bassin eurasien (stations 35, 36 et 37; figure 8) et du bassin du Canada (11, 18, 26, C1, E1, TC, E4; figure 7). Dans ces carottes, les teneurs en Mn à 40 cm de profondeur sont par ailleurs toujours supérieures à $1000 \mu\text{g g}^{-1}$, comparativement à des teneurs de moins de $400 \mu\text{g g}^{-1}$ dans la partie profonde des carottes de marge. Ces observations suggèrent fortement la présence d'oxyhydroxydes de Mn dans la colonne de sédiment jusqu'à au moins 40 cm de profondeur. On peut d'ailleurs noter la présence de plusieurs pics de teneurs maximales en Mn sous l'interface eau-sédiment dans plusieurs des carottes. De tels pics de teneurs

élevées en Mn, dans des sédiments pauvres en matière organique à des profondeurs variables, ont d'ailleurs été expliqués par la formation d'oxyhydroxydes de Mn induite par des fluctuations au cours du temps de la profondeur de pénétration de l'O₂ dans les sédiments (Burdige, 1993). Par modélisation géochimique, Katsev *et al.* (2006) ont notamment démontré qu'une légère augmentation du flux de C_{ORG} déposé à l'interface eau-sédiment dans l'océan Arctique abyssal est suffisante pour causer une variation de plusieurs cm de la profondeur de pénétration de l'O₂ dans la colonne de sédiments.

À notre connaissance, la présence d'oxyhydroxydes de Fe dans les sédiments des bassins eurasiens et du Canada n'a jamais été évaluée jusqu'à ce jour par quelques méthodes que ce soit (lixiviations sélectives ou autres). Celle-ci est néanmoins fortement suggérée par les rapports massiques moyen (± 1 écart type) Fe/Al de 0 à 40 cm de profondeur dans les sédiments des bassins eurasiens ($0,55 \pm 0,05$) et du Canada ($0,61 \pm 0,05$), lesquels sont supérieurs aux plus faibles valeurs du rapport Fe/Al mesurées dans les carottes de marge, soit 0,45, 0,46 et 0,43 respectivement aux stations SLIP2, UTN5 et CG2. Une telle différence suggère que plus de 20% du Fe total contenu dans les sédiments des bassins abyssaux de l'océan Arctique se trouvent sous une forme authigène, le plus probablement des oxyhydroxydes de Fe. Nous proposons que l'As^{NL} dans ces sédiments est principalement associé par adsorption à ces composés. Cette conclusion est en outre appuyée par les valeurs du rapport As^{NL}/Fe^{NL}, où Fe^{NL} est le fer non lithogène tel qu'estimé par l'équation suivante :

$$Fe^{NL} = Fe^M - \left[Al_M \times \left(\frac{Fe}{Al} \right)^L \right] \quad (3)$$

Dans cette dernière équation, Fe^M représente la teneur mesurée en Fe et $\left(\frac{Fe}{Al} \right)^L$ le rapport massique moyen des teneurs en Fe et en Al dans la fraction lithogène des sédiments de l'océan Arctique que nous estimons égal à 0,45. (Notons que cette valeur est inférieure au rapport moyen Fe/Al rapporté pour les schistes argileux par Turekian et Wedepohl (1961) et Borchers (2005), soit 0,59 et 0,55 respectivement, mais que ces rapports ne caractérisent pas bien la fraction lithogène des sédiments de l'océan Arctique où des

valeurs de 0,45, 0,46 et 0,43 ont respectivement été trouvées dans les mers de Béring, des Tchoukches et de Beaufort.) Ainsi, les valeurs moyennes (± 1 écart type) du rapport As^{NL}/Fe^{NL} , exprimé ici en unité molaire pour fin de comparaison avec les travaux cités ci-après, dans les carottes des bassins eurasiens et du Canada, soit respectivement de 0,40 ($\pm 0,01$) $\times 10^{-3}$ et 0,35 ($\pm 0,01$) $\times 10^{-3}$, sont du même ordre de grandeur que les valeurs du rapport As/Fe , soit 0,1-6,9 $\times 10^{-3}$, dans le matériel diagénétique prélevé avec des plaques de Teflon dans de nombreux lacs du Bouclier canadien (Belzile et Tessier, 1990; De Vitre *et al.*, 1991; Feyte *et al.*, 2010; Feyte *et al.*, soumis).

4.4. Association arsenic, soufre et fer

Dans la marge continentale arctique, où les teneurs en S inorganique réduit (particulièrement S_{CRS} et S_{AVS}) sont relativement élevées dans la partie profonde des carottes, une fraction de l'enrichissement en As des sédiments résultent vraisemblablement d'interactions As-Fe-S. Nos observations montrant que les teneurs en As, lesquelles sont minimales à la base de la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe, augmentent avec la profondeur sous cette couche simultanément à une augmentation des teneurs en S_{RED} , en particulier S_{CRS} , appuient une telle appréciation. À certains sites, l'augmentation en As avec la profondeur est très marquée à d'autres moins. Dans les carottes où l'As augmente peu, il n'y a pas non plus une forte augmentation en S réduit. Dans les carottes où l'As augmente de façon prononcée avec la profondeur, le S réduit s'accroît aussi fortement avec la profondeur. Ceci est particulièrement frappant aux stations de la mer de Béring (SLIP1, SLIP3 et SLIP4), où il existe une corrélation significative entre les teneurs en As^{NL} et celles en S_{RED} ($R^2=0,60$; $p<0,0001$; $n=18$), de même qu'entre As^{NL} et S_{CRS} ($R^2=0,63$; $p<0,0001$; $n=18$) sous la couche de surface enrichie en oxyhydroxydes de Fe.

La nature des mécanismes de séquestration de l'As en condition réductrice dans les sédiments est reconnue pour être des plus complexes (O'Day *et al.*, 2004). L'As peut s'adsorber sur des phases authigènes de sulfure de Fe, s'associer à ces mêmes phases par co-précipitation lorsqu'elles se forment, voire également précipiter sous la forme d'une phase solide pure d'As et de S. L'adsorption de l'As à la surface de minéraux de sulfure de Fe a notamment fait l'objet d'études en milieux expérimentaux contrôlés. Elle a entre

autres été démontrée pour l'As(III) sur la troïlite (FeS) et la pyrite (FeS₂) synthétiques sous diverses conditions de pH, de force ionique, de concentrations initiales en As, de même que de concentrations en sulfures (Bostick et Fendorf, 2003) et pour l'As(III) et l'As(V) sur la mackinawite (FeS) et la pyrite (Farquhar *et al.*, 2002; Wolthers *et al.*, 2005). L'As dissous produit dans les eaux interstitielles suite à une réduction des oxyhydroxydes de Fe ou l'As adsorbé sur du sulfure de Fe pourrait en outre être fixé en s'associant à la pyrite par co-précipitation (Aggett et O'Brien, 1985; Belzile, 1988; Belzile et Lebel, 1986; Mucci *et al.*, 2000). Enfin, il a aussi été proposé que, dans les milieux où le Fe est peu abondant mais où les concentrations en sulfure dissous atteignent des valeurs relativement élevées, l'As puisse précipiter sous la forme d'orpiment (As₂S₃) (Aggett et O'Brien, 1985; Mucci *et al.*, 2000; O'Day *et al.*, 2004). Ainsi, sans pouvoir préciser l'importance relative des différents possibles mécanismes de fixation de l'As dans les sédiments de la marge continentale arctique, on peut néanmoins suggérer sur la base de nos résultats que, en condition réductrice, l'As s'immobilise dans ces sédiments par association avec des sulfures de Fe et/ou par précipitation sous forme d'orpiment.

4.5 Séquestration de l'As dans les sédiments de l'océan Arctique

Lorsque combiné à des données de la littérature, les résultats de cette étude permettent d'estimer l'accumulation de l'As dans les sédiments de l'ensemble de l'océan Arctique et de poser ainsi un premier jalon dans la construction d'un bilan de masse pour cet élément dans l'océan polaire. Tel que démontré dans d'autres études (Macdonald *et al.*, 2000; Outridge *et al.*, 2008), de tel bilans sont utiles pour mieux comprendre les cycles contemporains des éléments (et des contaminants) dans l'océan Arctique et pour prédire les conséquences des changements environnementaux sur ces cycles. Ils peuvent en outre servir à mieux évaluer le rôle de l'océan Arctique dans les cycles océaniques globaux des éléments.

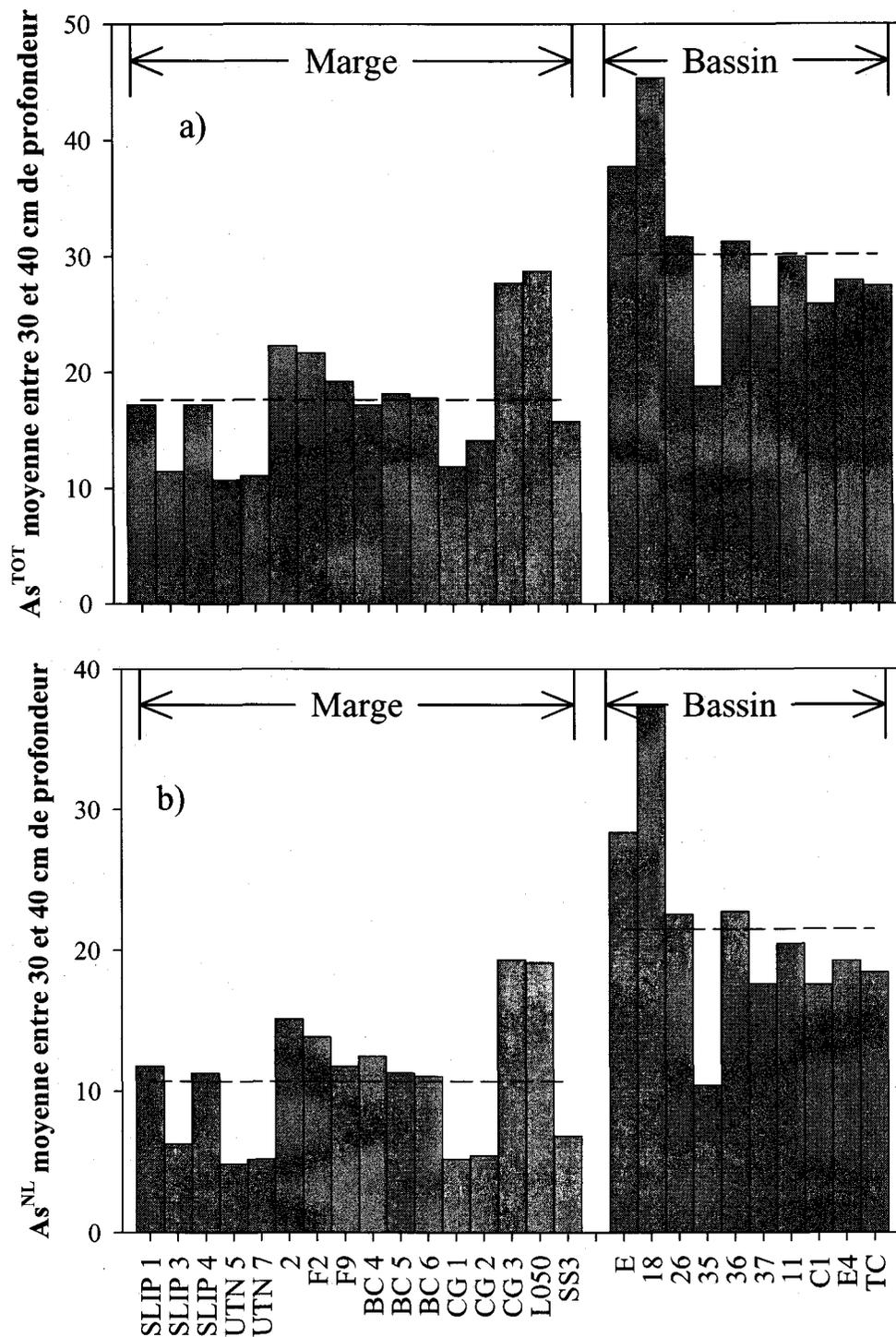


Figure 11. Teneurs moyennes en As^{TOT} (a) et en As^{NL} (b) entre 30 et 40 cm de profondeur dans chacune des carottes de marge et de bassin. La ligne pointillée horizontale représente les moyennes pour chacun des deux grands compartiments.

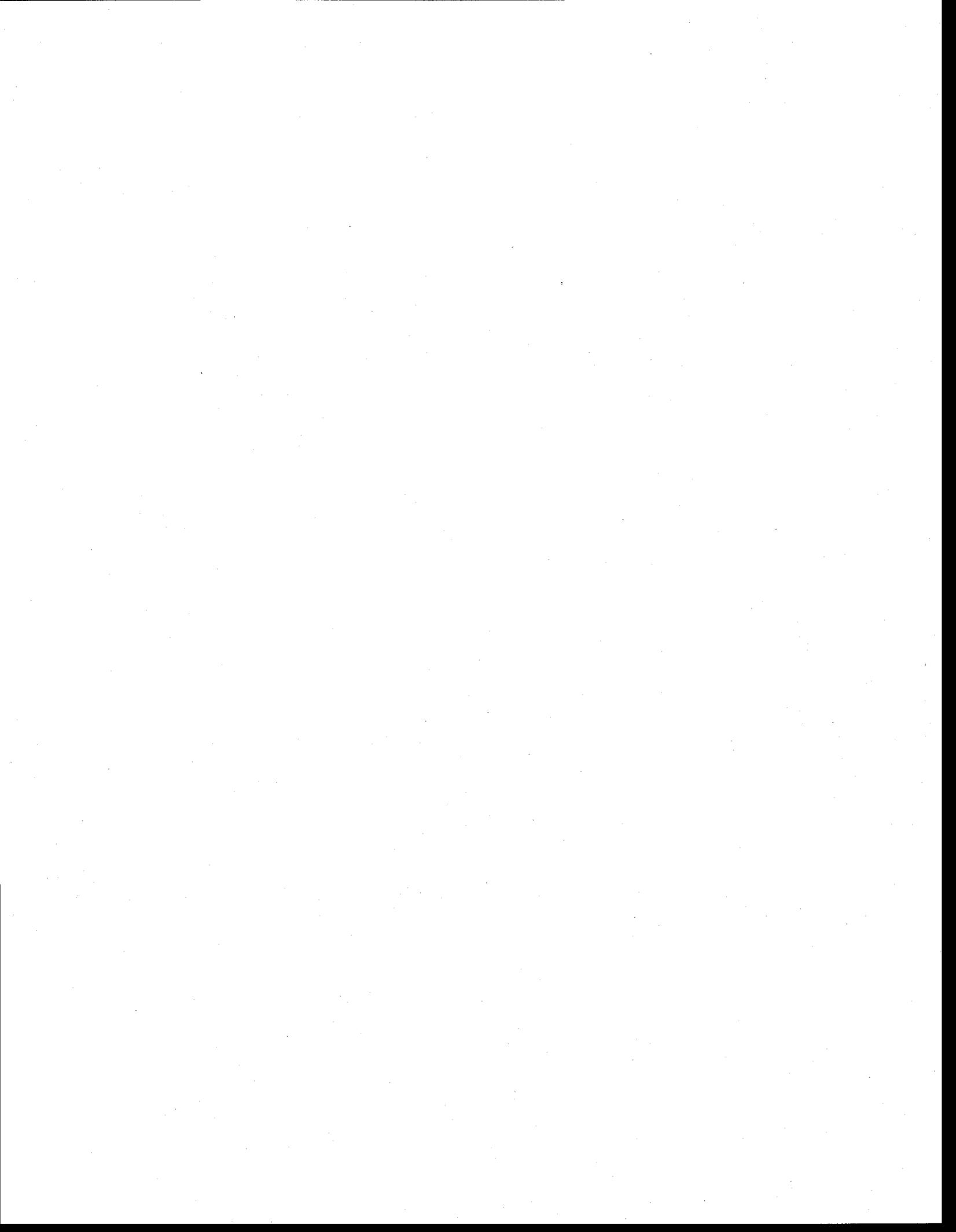
Tableau 3. Teneurs moyennes en As total (As^{TOT}) et en As non lithogène (As^{NL}) entre 30 et 40 cm de profondeur dans les sédiments de nos carottes de marge et de bassin et estimation de l'accumulation des sédiments, de l' As^{TOT} et de l' As^{NL} dans l'ensemble de la marge continentale et de la zone abyssale de l'océan Arctique. Les valeurs d'accumulation des sédiments sont celles de Stein et Macdonald (2004).

As total ($\mu\text{g g}^{-1}$)	As^{NL} ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Accumulation		
		Sédiment (10^6 T a^{-1})	As^{TOT} (10^3 T a^{-1})	As^{NL} (10^3 T a^{-1})
Marge				
18 ± 5	11 ± 5	~ 463	$\sim 8,3$	$\sim 5,1$
Zone abyssale				
30 ± 7	22 ± 7	~ 142	$\sim 4,3$	$\sim 3,1$
Total		~ 605	$\sim 12,6$	$\sim 8,2$

L'évaluation de l'accumulation de l'As dans les sédiments de l'océan Arctique que nous pouvons proposer repose sur l'inventaire chiffré de Stein et Macdonald (2004a) des sources et des puits de sédiments dans cet océan. Dans leur ouvrage, ces auteurs ont rassemblé toutes les données disponibles dans la littérature mondiale sur les apports, le transport et la déposition de sédiment dans toutes les mers marginales de l'océan Arctique et dans ses bassins profonds. Ils ont notamment considéré les apports de sédiments par les rivières et les fleuves, par l'érosion côtière découlant de l'action des vagues, de la glace et des courants et marées sur le littoral, et par le vent. Leur bilan de l'accumulation des sédiments est donné pour deux grands compartiments, en l'occurrence la marge continentale arctique et la zone abyssale. Les conclusions de leurs travaux sont les suivantes : i) les principales sources de sédiment dans l'océan Arctique sont l'érosion côtière ($430 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$), le fleuve Mackenzie ($124 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$) et l'ensemble des autres fleuves et rivières ($103 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$) et ii) l'accumulation globale de sédiment y atteint $605 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$, dont $463 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$ dans la marge continentale et $142 \times 10^6 \text{ T a}^{-1}$ dans la zone abyssale.

L'ordre de grandeur de l'accumulation de l'As dans les sédiments de l'océan Arctique peut être obtenu en multipliant les teneurs moyennes en As dans la partie profonde de nos carottes de marge et de bassin par les quantités de sédiments qui s'accumulent dans chacun des deux compartiments. Nous avons considéré que les teneurs mesurées sous l'horizon de 30 cm de profondeur, où la bioturbation et les réactions de diagenèse précoce liées à la dégradation de la matière organique deviennent pour ainsi dire négligeables, caractérisent bien les teneurs des sédiments qui sont ultimement accumulés à chacun des sites. Nos résultats (figure 11) suggèrent que, respectivement pour les sédiments de la marge continentale et de la zone abyssale, les teneurs moyennes (± 1 écart type) en As total (As^{TOT}) entre 30 et 40 cm de profondeur sont de $18 (\pm 5) \mu\text{g g}^{-1}$ et de $30 (\pm 7) \mu\text{g g}^{-1}$ et en As^{NL} de $11 (\pm 5) \mu\text{g g}^{-1}$ et de $22 (\pm 7) \mu\text{g g}^{-1}$. L'extrapolation de ces données mène à la conclusion qu'environ 8300 et 4300 T a^{-1} d' As^{TOT} s'accumulent respectivement dans la marge continentale et dans la zone abyssale de l'océan Arctique, dont respectivement ~ 5100 et $\sim 3100 \text{ T a}^{-1}$ sous forme non lithogène (Tableau 3).

D'après Matschullat (2000), les fleuves sont la source principale de l'As dans l'océan mondial. Elles y apporteraient annuellement 81 000 T d'As, dont 61 000 T sous forme dissoute. Selon le même auteur, le volcanisme sous-marin représente la deuxième source importante d'As dans l'océan mais sa contribution est infiniment plus petite ($\sim 5 \text{ T a}^{-1}$). Ainsi, la séquestration de l'As dans les sédiments de l'océan Arctique est équivalente à environ 14,7 % des apports totaux de cet élément à l'océan mondial, dont environ les 2/3 sous forme non lithogène. On peut par conséquent conclure que, en dépit des incertitudes inhérentes à de tels calculs, l'océan Arctique, qui ne représente qu'une petite fraction de l'océan mondial, sa superficie et son volume sont entre autres respectivement équivalents à environ 2,6% et 1,0% de ceux de l'océan mondial (Stein et Macdonald, 2004b), joue un rôle démesurément grand compte tenu de sa taille dans le cycle biogéochimique océanique global de l'As.



5. CONCLUSION

Les teneurs en As que nous avons mesurées dans les sédiments de l'océan Arctique (moyenne de $26 \pm 15 \mu\text{g g}^{-1}$, $n=546$) sont comparables à celles rapportées dans la littérature pour des sédiments prélevés à d'autres sites dans cet océan, mais sont supérieures aux teneurs moyennes en As dans la croûte terrestre ($\sim 2 \mu\text{g g}^{-1}$) et dans les schistes argileux ($\sim 10 \mu\text{g g}^{-1}$). Les valeurs du rapport As/Al sont par ailleurs supérieures au rapport As/Al moyen des schistes argileux, notamment dans la couche de surface enrichie en Fe dans les carottes de marge (jusqu'à 22 fois supérieures), sur toute la longueur des carottes des bassins abyssaux (jusqu'à 8 fois supérieures) et sous la couche de surface enrichie en Fe dans les sédiments de la marge continentale arctique (jusqu'à 5 fois supérieures). En comparant les inventaires en As non-lithogène dans les sédiments à l'inventaire en As d'origine anthropique accumulé dans les sédiments de lacs du sud du Québec depuis le début de l'ère industrielle, nous avons pu conclure que des apports aéroportés d'As de sources anthropiques ne pouvaient pas être la cause de l'enrichissement des sédiments marins arctiques par ce métalloïde.

Les résultats de la présente recherche ont permis de mettre en évidence que la distribution de l'As dans les sédiments de surface de l'océan Arctique est essentiellement contrôlée par la diagenèse précoce. Les tendances observées dans les profils de l'As et des autres éléments dans les sédiments, en particulier ceux du Mn, du Fe et du S inorganique réduit, supportent cette conclusion. Les similitudes frappantes entre les profils de l'As et ceux du Fe dans les sédiments de la marge continentale suggèrent que l'As est fortement associé aux oxyhydroxydes de Fe par adsorption lorsque ces composés sont présents dans les sédiments. Dans les sédiments des bassins abyssaux peu productifs de l'océan Arctique, où l'O₂ peut pénétrer très profondément dans les sédiments, la majorité de l'As non lithogène pourrait être adsorbé sur ces composés jusqu'à 40 cm et plus dans les sédiments. Dans la marge continentale arctique, où la présence de teneurs relativement élevées en S inorganique réduit a été détectée en profondeur dans plusieurs carottes, l'As non lithogène dans les sédiments serait par contre principalement associé à des phases de sulfure de Fe.

En nous appuyant sur des données de la littérature, nous avons été en mesure de montrer que l'océan Arctique représente un puits important d'As, dans lequel s'accumulerait jusqu'à 15 % de tout l'As apporté à l'océan mondial par les rivières, lesquelles sont la principale source de cet élément au milieu marin. Selon nos estimations, l'accumulation totale d'As dans les sédiments de l'océan Arctique est de l'ordre de $12,6 \times 10^3 \text{ T a}^{-1}$, dont environ $8,2 \times 10^3 \text{ T a}^{-1}$ sous forme non lithogène. Enfin, nos résultats révèlent qu'environ les deux tiers de ces quantités s'accumulent dans la marge continentale arctique et l'autre tiers dans les bassins abyssaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ACIA, Marine systems, tiré de *Arctic Climate Impact Assessment* (2004), Cambridge University Press
- Aggett J. et O'Brien G.A. (1985). Detailed model for the mobility of arsenic in lacustrine sediments based on measurements in lake Ohakuri. *Environmental Science & Technology*,**19**, 231-238.
- Arrigo K.R., van Dijken G. et Pabi S. (2008). Impact of a shrinking Arctic ice cover on marine primary production. *Geophys. Res. Lett.*,**35**.
- Belicka L.L., Macdonald R.W. et Harvey H.R. (2002). Sources and transport of organic carbon to shelf, slope, and basin surface sediments of the Arctic ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*,**49**, 1463-1483.
- Belzile N. (1988). The fate of arsenic in sediments of the Laurentian trough. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**52**, 2293-2302.
- Belzile N., Devitre R.R. et Tessier A. (1989). In situ collection of diagenetic iron and manganese oxyhydroxides from natural sediments. *Nature*,**340**, 376-377.
- Belzile N. et Lebel J. (1986). Capture of arsenic by pyrite in near-shore marine sediments. *Chemical Geology*,**54**, 279-281.
- Belzile N. et Tessier A. (1990). Interactions between arsenic and iron oxyhydroxides in lacustrine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**54**, 103-109.
- Bissen M. et Frimmel F.H. (2003). Arsenic - a review. - Part 1: Occurrence, toxicity, speciation, mobility. *Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica*,**31**, 9-18.
- Borchers S. (2005). Geochemical signatures of the Nambian diatom belt: Perennial upwelling and intermittent anoxia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*,**6**.
- Bostick B.C., Chen C. et Fendorf S. (2004). Arsenite retention mechanisms within estuarine sediments of Pescadero, CA. *Environmental Science & Technology*,**38**, 3299-3304.
- Bostick B.C. et Fendorf S. (2003). Arsenite sorption on troilite (FeS) and pyrite (FeS₂). *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**67**, 909-921.
- Burdige D.J. (1993). The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments. *Earth-Science Reviews*,**35**, 249-284.
- Burdige D.J., Physical Properties of Sediments, tiré de *Geochemistry of Marine Sediments* (2006), Princeton University Press
- Canfield D.E., Raiswell R., Westrich J.T., Reaves C.M. et Berner R.A. (1986). The use of chromium reduction in the analysis of reduced inorganic sulfur in sediments and shales. *Chemical Geology*,**54**, 149-155.
- Carmack E., Barber D., Christensen J., Macdonald R., Rudels B. et Sakshaug E. (2006). Climate variability and physical forcing of the food webs and the carbon budget on panarctic shelves. *Progress in Oceanography*,**71**, 145-181.

- Cline J.D. (1969). Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. *Limnology & Oceanography*,**13**, 454-458.
- Clough L.M., Ambrose J.W.G., Kirk Cochran J., Barnes C., Renaud P.E. et Aller R.C. (1997). Infaunal density, biomass and bioturbation in the sediments of the Arctic ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*,**44**, 1683-1704.
- Comiso J.C., Parkinson C.L., Gersten R. et Stock L. (2008). Accelerated decline in the Arctic sea ice cover. *Geophysical Research Letters*,**35**.
- Cooper L.W., Whitley T.E., Grebmeier J.M. et Weingartner T. (1997). The nutrient, salinity, and stable oxygen isotope composition of Bering and Chukchi seas waters in and near the Bering Strait. *Journal of Geophysical Research*,**102**, pp. 12563-12573.
- Couture R.-M., Gobeil C. et Tessier A. (2008). Chronology of atmospheric deposition of arsenic inferred from reconstructed sedimentary records. *Environmental Sciences & Technology*,**42**, pp. 6508-6513.
- Couture R.-M., Gobeil C. et Tessier A. (2010). Arsenic, iron and sulfur co-diagenesis in lake sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**74**, 1238-1255.
- Crane K., Galasso J., Brown C., Cherkashov G., Ivanov G., Petrova V. et Vanstayan B. (2001). Northern ocean inventories of organochlorine and heavy metal contamination. *Marine Pollution Bulletin*,**43**, 28-60.
- Darby D.A., Bischof J.F. et Jones G.A. (1997). Radiocarbon chronology of depositional regimes in the western Arctic ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*,**44**, 1745-1757.
- De Vitre R., Belzile N. et Tessier A. (1991). Speciation and adsorption of arsenic on diagenetic iron oxyhydroxides. *Limnology and Oceanography*,**36**, 1480-1485.
- Dixit S. et Hering J.G. (2003). Comparison of arsenic(V) and arsenic(III) sorption onto iron oxide minerals: Implications for arsenic mobility. *Environmental Science & Technology*,**37**, 4182-4189.
- Elrod V.A., Berelson W.M., Coale K.H. et Johnson K.S. (2004). The flux of iron from continental shelf sediments: A missing source for global budgets. *Geophysical Research Letters*,**31**, 4.
- Farquhar M.L., Charnock J.M., Livens F.R. et Vaughan D.J. (2002). Mechanisms of arsenic uptake from aqueous solution by interaction with goethite, lepidocrocite, mackinawite, and pyrite: An X-ray absorption spectroscopy study. *Environmental Science & Technology*,**36**, 1757-1762.
- Ferguson J.F. et Gavis J. (1972). A review of the arsenic cycle in natural waters. *Water Research*,**6**, 1259-1274.
- Feyte S., Tessier A., Gobeil C. et Cossa D. (soumis). *In situ* adsorption of mercury, methylmercury and other elements by iron oxyhydroxides and associated organic matter in lake sediments. *Applied Geochemistry*

- Forest A., Sampei M., Hattori H., Makabe R., Sasaki H., Fukuchi M., Wassmann P. et Fortier L. (2007). Particulate organic carbon fluxes on the slope of the Mackenzie shelf (Beaufort sea): Physical and biological forcing of shelf-basin exchanges. *Journal of Marine Systems*,**68**, 39-54.
- Froelich P.N., Klinkhammer G.P., Bender M.L., Luedtke N.A., Heath G.R., Cullen D., Dauphin P., Hammond D., Hartman B. et Marynard V. (1979). Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochimica & Cosmochimica Acta*,**43**, 1075-1090.
- Galasso J.L., Siegel F.R. et Kravitz J.H. (2000). Heavy metals in eight 1965 cores from the Novaya Zemlya trough, Kara sea, russian Arctic. *Marine Pollution Bulletin*,**40**, 839-852.
- Glud R.N., Risgaard-Petersen N., Thamdrup B., Fossing H. et Rysgaard S. (2000). Benthic carbon mineralization in a high-Arctic sound (Young Sound, NE Greenland). *Marine Ecology-Progress Series*,**206**, 59-71.
- Gobeil C., Macdonald R.W. et Sundby B. (1997). Diagenetic separation of cadmium and manganese in suboxic continental margin sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**61**, 4647-4654.
- Gobeil C., Sundby B., Macdonald R.W. et Smith J.N. (2001). Recent change in organic carbon flux to the Arctic ocean deep basins: Evidence from acid volatile sulfide, manganese and rhenium discord in sediments. *Geophysical Research Letters*,**28**, 1743-1746.
- Grebmeier J.M. et Cooper L.W. (1995). Influence of the St. Lawrence island polynya upon the Bering sea benthos. *Journal of Geophysical Research*,**100**.
- Grebmeier J.M. et Harvey H.R. (2005). The western Arctic shelf-basin interactions (SBI) project: An overview. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*,**52**, 3109-3115.
- Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A. et Korotev R.L. (1984). The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**48**, pp. 2469-2482.
- Guo L., Semiletov I., Gustafsson Å.r., Ingri J., Andersson P., Dudarev O. et White D. (2004). Characterization of Siberian Arctic coastal sediments: Implications for terrestrial organic carbon export. *Global Biogeochemical Cycles*,**18**.
- Hsieh Y.P., Chung S.W., Tsau Y.J. et Sue C.T. (2002). Analysis of sulfides in the presence of ferric minerals by diffusion methods. *Chemical Geology*,**182**, 195-201.
- Hsieh Y.P. et Yang C.H. (1989). Diffusion methods for the determination of reduced inorganic sulfur species in sediments. *Limnol. Oceanogr.*,**36**, 1126-1130.
- Huh C.-A., Piasias N.G., Kelley J.M., Maiti T.C. et Grantz A. (1997). Natural radionuclides and plutonium in sediments from the western Arctic ocean: sedimentation rates and pathways of radionuclides. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*,**44**, 1725-1743.

- Hwang J., Eglinton T.I., Krishfield R.A., Manganini S.J. et Honjo S. (2008). Lateral organic carbon supply to the deep Canada basin. *Geophysical Research Letters*,**35**, doi: L1160710.1029/2008gl034271
- Jakobsson M., Grantz A., Kristoffersen Y. et Macnab R., Chapter 1.1 Bathymetry and physiography of the Arctic ocean and its constituents seas, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004), Macdonald R.W. et Stein R. (Éditeurs), Springer
- Johnson K.S., Chavez F.P. et Friederich G.E. (1999). Continental-shelf sediment as a primary source of iron for coastal phytoplankton. *Nature*,**398**, 697-700.
- Katsev S., Sundby B. et Mucci A. (2006). Modeling vertical excursions of the redox boundary in sediments: Application to deep basins of the Arctic ocean. *Limnology & Oceanography*,**51**, 1581-1593.
- Klages M., Boetius A., Christensen J.P., Deubel H., Piepenburg D., Schewe I. et Solwedel T., Chapter 6. The benthos of Arctic seas and its role for the organic carbon cycle at the seafloor, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004), Stein R. et Macdonald R.W. (Éditeurs), Springer
- Kostka J.E., Thamdrup B., Glud R.N. et Canfield D.E. (1999). Rates and pathways of carbon oxidation in permanently cold Arctic sediments. *Marine Ecology-Progress Series*,**180**, 7-21.
- Liu K.K., Atkinson L., Chen C.T.A., Gao S., Hall J., Macdonald R.W., McManus L.T. et Quinones R. (2000). Exploring continental margin carbon fluxes on a global scale. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*,**81**, pp.641-644.
- Loring D.H. (1995). Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora sea, Russia. *Marine Geology*,**128**, 153-167.
- Loring D.H., Dahle S., Naes K., Dos Santos J., Skei J.M. et Matishov G.G. (1998). Arsenic and other trace metals in sediments from the Kara sea and the Ob and Yenisey estuaries, Russia. *Aquatic Geochemistry*,**4**, 233-252.
- Macdonald R.W., Barrie L.A., Bidleman T.F., Diamond M.L., Gregor D.J., Semkin R.G., Strachan W.M.J., Li Y.F., Wania F., Alaee M., Alexeeva L.B., Backus S.M., Bailey R., Bowers J.M., Gobeil C., Halsall C.J., Harner T., Hoff J.T., Jantunen L.M.M., Lockhart W.L., Mackay D., Muir D.C.G., Pudykiewicz J., Reimer K.J., Smith J.N., Stern G.A., Schroeder W.H., Wagemann R. et Yunker M.B. (2000). Contaminants in the canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways. *Science of The Total Environment*,**254**, 93-234.
- Macdonald R.W. et Carmack E.C. (1991). Age of Canada basin deep waters - A way to estimate primary production for the Arctic ocean. *Science*,**254**, 1348-1350.
- Macdonald R.W., Harner T. et Fyfe J. (2005). Recent climate change in the Arctic and its impact on contaminant pathways and interpretation of temporal trend data. *Science of The Total Environment*,**342**, 5-86.

- Macdonald R.W., Naidu A.S., Yunker M.B. et Gobeil C., The Beaufort sea: Distribution, sources, fluxes and burial of organic carbon, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004), Stein R. et Macdonald R.W. (Éditeurs), Springer
- Macdonald R.W., Solomon S.M., Cranston R.E., Welch H.E., Yunker M.B. et Gobeil C. (1998). A sediment and organic carbon budget for the canadian Beaufort shelf. *Marine Geology*,**144**, 255-273.
- Manning B.A., Fendorf S.E. et Goldberg S. (1998). Surface structures and stability of arsenic(III) on goethite: Spectroscopic evidence for inner-sphere complexes. *Environmental Science & Technology*,**32**, 2383-2388.
- Martin A.J. et Pedersen T.F. (2002). Seasonal and interannual mobility of arsenic in a lake impacted by metal mining. *Environmental Science & Technology*,**36**, 1516-1523.
- Martin A.J. et Pedersen T.F. (2004). Alteration to lake trophic status as a means to control arsenic mobility in a mine-impacted lake. *Water Research*,**38**, 4415-4423.
- Matschullat J. (2000). Arsenic in the geosphere - a review. *The Science of the Total Environment*,**249**, 297-312.
- McLaren J.W., Methven B.A.J., Lam J.W.H. et Berman S.S. (1995). The use of inductively coupled plasma mass spectrometry in the production of environmental certified reference materials. *Microchimica Acta*,**119**, 287-295.
- Morford J.L., Martin W.R., Kalnejais L.H., Francois R., Bothner M. et Karle I.M. (2007). Insights on geochemical cycling of U, Re and Mo from seasonal sampling in Boston harbor, Massachusetts, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,**71**, 895-917.
- Mucci A., Richard L.F., Lucotte M. et Guignard C. (2000). The differential geochemical behavior of arsenic and phosphorus in the water column and sediments of the Saguenay fjord estuary, Canada. *Aquatic Geochemistry*,**6**, 293-324.
- Naidu A.S., Cooper L.W., Grebmeier J.M., Whitley T.E. et Hameedi M.J., The continental margin of the north Bering-Chukchi sea: Concentrations, sources, fluxes, accumulation and burial rates of organic carbon, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004), Stein R. et Macdonald R.W. (Éditeurs), Springer
- Nickel M., Vandieken V., Brüchert V. et Jørgensen B.B. (2008). Microbial Mn(IV) and Fe(III) reduction in northern Barents sea sediments under different conditions of ice cover and organic carbon deposition. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*,**55**, 2390-2398.
- Nriagu J.O. (1989). A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*,**338**, 47-49.
- Nriagu J.O. et Pacyna J.M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*,**333**, 134-139.

- O'Day P.A., Vlassopoulos D., Root R. et Rivera N. (2004). The influence of sulfur and iron on dissolved arsenic concentrations in the shallow subsurface under changing redox conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 13703-13708.
- Outridge P.M., Macdonald R.W., Wang F., Stern G.A. et Dastoor A.P. (2008). A mass balance inventory of mercury in the Arctic ocean. *Environmental Chemistry*, **5**, 89-111.
- Peterson M.L. et Carpenter R. (1986). Arsenic distributions in porewaters and sediments of Puget sound, lake Washington, the Washington coast and Saanich inlet, B.C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **50**, 353-369.
- Piepenburg D. (2005). Recent research on Arctic benthos: common notions need to be revised. *Polar Biology*, **28**, 733-755.
- Pierce M.L. et Moore C.B. (1982). Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron hydroxide. *Water Research*, **16**, 1247-1253.
- Planer-Friedrich B. et Merkel B.J. (2006). Volatile metals and metalloids in hydrothermal gases. *Environmental Science & Technology*, **40**, 3181-3187.
- Presley B.J. (1997). A review of Arctic trace metal data with implications for biological effects. *Marine Pollution Bulletin*, **35**, 226-234.
- Rachold V., Eicken H., Gordeev V.V., Grigoriev M.N., Hubberten H.-W., Lisitzin A.P., Shevchenko V.P. et Schirrmeister L., Modern terrigenous organic carbon input to the Arctic ocean, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004), Stein R. et Macdonald R.W. (Éditeurs), Springer
- Reimann C., Matschullat J., Birke M. et Salminen R. (2009). Arsenic distribution in the environment: The effects of scale. *Applied Geochemistry*, **24**, 1147-1167.
- Rozanov A.G., Volkov, II, Kokryatskaya N.M. et Yudin M.V. (2006). Manganese and iron in the White Sea: Sedimentation and diagenesis. *Lithology and Mineral Resources*, **41**, 483-501.
- Sakchaug E., Primary and secondary production in the Arctic seas, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004), Stein R. et Macdonald R.W. (Éditeurs), Springer
- Siegel F.R., Galasso J.J. et Kravitz J.H. (2001a). Geochemistry of thirteen Voronin trough cores, Kara sea, european Arctic: Hg and As contaminants at a 1965 timeline. *Applied Geochemistry*, **16**, 19-34.
- Siegel F.R., Kravitz J.H. et Galasso J.J. (2001b). Arsenic and mercury contamination in 31 cores taken in 1965, St. Anna trough, Kara sea, Arctic ocean. *Environmental Geology*, **40**, 528-542.
- Smedley P.L. et Kinniburgh D.G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, **17**, 517-568.
- Springer A.M., McRoy C.P. et Mikhail V.F. (1996). The Bering sea green belt: shelf-edge processes and ecosystem production. *Fisheries Oceanography*, **5**, 205-223.

- Stein R. et Macdonald R.W., Organic carbon budget: Arctic ocean vs. global ocean, tiré de *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean* (2004a), Stein R. et Macdonald R.W. (Éditeurs), Springer
- Stein R. et Macdonald R.W. (Editors), 2004b. The organic carbon cycle in the Arctic ocean, Springer
- Sturgeon R.E., Desaulniers J.A.H., Berman S.S. et Russell D.S. (1982). Determination of trace metals in estuarine sediments by graphite-furnace atomic absorption spectrometry. *Analytical Chimica Acta*, **134**, 283-291.
- Sullivan K.A. et Aller R.C. (1996). Diagenetic cycling of arsenic in Amazon shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**, 1465-1477.
- Sundby B., Martinez P. et Gobeil C. (2004). Comparative geochemistry of cadmium, rhenium, uranium, and molybdenum in continental margin sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **68**, 2485-2493.
- Tessier A., Fortin D., Belzile N., DeVitre R.R. et Leppard G.G. (1996). Metal sorption to diagenetic iron and manganese oxyhydroxides and associated organic matter: Narrowing the gap between field and laboratory measurements. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**, 387-404.
- Tourtelot H.A. (1964). Minor-element composition and organic carbon content of marine and nonmarine shales of Late Cretaceous age in the western interior of the United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **28**, 1579-1604.
- Trefry J.H., Rember R.D., Trocine R.P. et Brown J.S. (2003). Trace metals in sediments near offshore oil exploration and production sites in the alaskan Arctic. *Environmental Geology*, **45**, 149-160.
- Turekian K.K. et Wedepohl K.H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, **72**, 175-192.
- Valette-Silver N., Jawed Hameedi M., Efurud D.W. et Robertson A. (1999). Status of the contamination in sediments and biota from the western Beaufort sea (Alaska). *Marine Pollution Bulletin*, **38**, 702-722.
- Vandieken V., Nickel M. et Jorgensen B.B. (2006). Carbon mineralization in Arctic sediments northeast of Svalbard: Mn(IV) and Fe(III) reduction as principal anaerobic respiratory pathways. *Marine Ecology-Progress Series*, **322**, 15-27.
- Vinnikov K.Y. et Grody N.C. (2003). Global warming trend of mean tropospheric temperature observed by satellites. *Science*, **302**, 269-272.
- Vinnikov K.Y., Robock A., Stouffer R.J., Walsh J.E., Parkinson C.L., Cavalieri D.J., Mitchell J.F., Garrett D. et Zakharov V.F. (1999). Global warming and northern hemisphere sea ice extent. *Science*, **286**, 1934-1937.
- Wang S. et Mulligan C.N. (2006). Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution. *Science of The Total Environment*, **366**, 701-721.
- Wedepohl K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**, 1217-1232.

- Wheeler P.A., Gosselin M., Sherr E., Thibault D., Kirchman D.L., Benner R. et Whitlege T.E. (1996). Active cycling of organic carbon in the central Arctic ocean. *Nature*, **380**, 697-699.
- Wilkie J.A. et Hering J.G. (1996). Adsorption of arsenic onto hydrous ferric oxide: effects of adsorbate/adsorbent ratios and co-occurring solutes. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects*, **107**, pp.97-110.
- Wolthers M., Charlet L., Van der Weijden C.H., Van der Linde P.R. et Rickard D. (2005). Arsenic mobility in the ambient sulfidic environment: Sorption of arsenic(V) and arsenic(III) onto disordered mackinawite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **69**, 3483-3492.

ANNEXE 1 – RÉSULTATS ANALYTIQUES

Station SLIP1

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,86	5,62	14,6	3,39	400	3,46	1,77	0,03	1,51	1,57
0,5-1,0	0,81	5,41	13,2	3,11	386	3,10				
1,0-1,5	0,75	5,20	10,3	2,77	388	2,84	1,14			
1,5-2,0	0,74	5,27	10,5	2,84	394	2,72		0,06	3,78	1,34
2-3	0,72	5,23	9,9	2,75	380	2,76	1,06			
3-4	0,72	5,34	9,6	2,84	387	2,88				
4-5	0,72	5,28	10,2	2,81	390	3,26	1,09	0,05	4,02	1,18
5-6	0,70	5,31	9,0	2,76	392	3,32				
6-7	0,68	5,33	7,7	2,74	390	3,25	1,15			
7-8	0,68	5,31	7,7	2,68	401	3,73		1,03	5,09	2,64
8-9	0,66	5,26	8,0	2,67	388	4,10	1,12			
9-10	0,64	4,74	8,0	2,63	393	4,59				
10-12	0,67	5,24	7,9	2,79	383	3,60	0,89	6,24	5,91	6,43
12-14	0,63	5,35	8,9	2,73	392	4,13				
14-16	0,64	5,38	8,3	2,78	393	4,07	0,99			
16-18	0,63	5,40	8,3	2,83	385	4,30		7,68	14,09	2,93
18-20	0,63	5,35	8,8	2,76	387	4,12	1,03			
20-23	0,62	5,47	10,1	2,78	379	3,59		6,02	26,94	2,67
23-26	0,61	4,83	11,6	2,68	386	3,11	1,36			
26-29	0,59	5,44	15,2	2,69	394	4,15		6,60	17,46	5,73
29-32	0,58	5,47	18,0	2,77	401	4,29	0,89			
32-35	0,55	5,32	16,9	2,62	391	4,59		0,46	74,59	9,34

Station SLIP3

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,83	5,62	16,7	3,33	425	2,52	1,11	0,04	0,94	1,00
0,5-1,0	0,83	5,78	17,5	3,61	406	2,57	1,62			
1,0-1,5	0,81	4,56	15,9	3,20	380	2,13	1,64	0,02		
1,5-2,0	0,79	5,62	14,6	3,08	374	1,95	1,16			
2-3	0,75	5,61	14,5	2,93	356	1,75	1,26	0,12	6,31	2,12
3-4	0,73	4,94	11,8	2,81	339	1,60	1,07			
4-5	0,71	5,27	9,1	2,69	343	1,48	0,90	0,36		
5-6	0,70	5,60	8,3	2,71	349	1,54	1,15	1,52	4,36	1,96
6-7	0,70	5,51	8,2	2,67	347	1,53	1,10	0,75		
7-8	0,69	5,05	8,2	2,67	346	1,45	0,92			
8-9	0,67	4,95	8,7	2,60	337	1,43	1,00	1,40	6,85	4,28
9-10	0,65	5,63	8,0	2,62	350	1,47	0,62			
10-12	0,59	5,17	8,5	2,46	343	1,45	0,81	5,80		
12-14	0,59	5,64	9,3	2,55	344	1,70	0,75	4,11	11,37	5,27
14-16	0,59	5,20	9,8	2,53	345	1,89	0,78	4,89		
16-18	0,60	5,57	9,6	2,60	344	1,88	0,74			
18-20	0,59	5,27	10,0	2,55	343	1,78	0,88	3,88	14,42	8,21
20-23	0,59	5,45	9,6	2,61	347	1,79	0,87			
23-26	0,60	5,32	6,3	2,72	351	1,83	0,76	1,50	16,15	5,88
26-29	0,57	5,60	10,1	2,53	342	1,88	1,03			
29-32	0,56	4,93	13,3	2,50	324	2,26	0,76	2,45	40,01	6,27

Station SLIP4

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,86	5,88	15,5	3,62	409	3,12	1,95	0,02	4,62	1,59
0,5-1,0	0,84	5,76	15,6	3,54	396	2,67				
1,0-1,5	0,83	5,86	15,5	3,60	408	2,57	1,81			
1,5-2,0	0,81	5,96	13,9	3,58	412	2,47		0,23	2,76	1,08
2-3	0,81	5,77	14,0	3,46	397	2,43	1,80			
3-4	0,80	5,86	10,2	3,45	402	2,51				
4-5	0,79	5,90	10,1	3,53	411	3,01	1,78	11,02	9,37	4,12
5-6	0,81	5,96	10,2	3,56	408	3,09				
6-7	0,80	5,97	10,5	3,58	406	2,90	1,83			
7-8	0,79	6,14	10,7	3,71	415	3,40		21,07	15,54	7,63
8-9	0,78	5,93	11,1	3,58	396	3,83	1,76			
9-10	0,79	6,04	11,6	3,66	412	3,86				
10-12	0,80	5,85	10,6	3,55	411	3,51	1,73	16,64	14,67	4,12
12-14	0,79	6,06	11,2	3,72	405	3,85				
14-16	0,74	6,02	12,5	3,45	400	3,78	1,17			
16-18	0,73	5,85	13,0	3,38	406	4,18		20,87	20,70	4,75
18-20	0,73	5,92	14,0	3,36	406	3,95	1,50			
20-23	0,71	5,75	12,6	3,21	412	3,53		9,77	15,40	8,64
23-26	0,70	5,83	12,8	3,29	407	2,98	1,61			
26-29	0,68	5,96	15,2	3,33	416	4,06		10,34	27,48	4,41
29-32	0,66	5,91	17,0	3,23	412	4,12	1,36			
32-35	0,64	5,94	17,9	3,22	402	4,44		1,55	53,24	5,89

Station UTN5

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,78	5,58	12,6	2,86	328	2,41	1,55			
0,5-1,0	0,75	5,69	11,4	2,87	332	2,34		0,14	14,96	4,05
1,0-1,5	0,73	5,67	10,9	2,83	333	2,27	1,65			
1,5-2,0	0,73	5,67	10,4	2,85	326	2,25				
2-3	0,70	5,71	9,3	2,84	327	2,16	1,58	1,24	15,26	4,62
3-4	0,69	5,76	10,3	2,86	334	2,18				
4-5	0,67	5,75	9,5	2,83	338	2,14	1,43			
5-6	0,68	5,69	10,8	2,81	331	2,20		3,43	14,03	4,98
6-7	0,65	5,76	10,4	2,77	325	2,61	1,32			
7-8	0,63	5,69	10,2	2,71	328	2,63				
8-9	0,62	5,70	9,0	2,68	326	2,70	1,16			
9-10	0,61	5,72	9,3	2,67	327	2,77		14,51	22,59	6,96
10-12	0,58	5,73	8,4	2,65	328	2,77	0,96			
12-14	0,61	5,74	9,7	2,64	326	3,25				
14-16	0,58	5,73	11,4	2,68	328	3,52	1,08			
16-18	0,58	5,80	11,2	2,66	310	3,69		8,13	23,33	4,29
18-20	0,58	5,79	10,7	2,67	331	3,58	1,10			
20-23	0,57	5,75	9,3	2,69	326	4,36				
23-26	0,63	5,67	11,5	2,70	322	5,13	1,13			
26-29	0,61	5,79	10,0	2,78	284	5,25		1,63	74,82	9,67
29-32	0,62	5,90	10,8	2,87	337	5,70	1,22			

Station UTN7

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,87	6,05	17,0	3,66	355	5,31	2,40	4,24	32,24	11,26
0,5-1,0	0,83	5,93	16,0	3,53	350	4,41				
1,0-1,5	0,82	5,85	15,8	3,48	344	4,02	2,16			
1,5-2,0	0,81	6,12	16,5	3,60	358	3,65		1,52	21,39	3,81
2-3	0,80	5,94	15,3	3,48	360	3,17	1,94			
3-4	0,80	5,87		3,43	350	3,11				
4-5	0,79	5,98	16,1	3,45	360	3,11		0,64	14,06	3,34
5-6	0,78	5,85	12,4	3,32	346	3,06	1,95			
6-7	0,78	5,91	9,9	3,38	351	3,38				
7-8	0,76	5,83	9,9	3,30	350	3,55	2,01	6,44	21,01	5,28
8-9	0,75	5,75	11,0	3,23	347	3,46				
9-10	0,75	5,88	10,0	3,24	347	3,62	1,91			
10-12	0,73	5,71	9,5	3,09	340	3,66		6,54	23,23	7,20
12-14	0,72	5,80	10,6	3,21	351	4,69	1,80			
14-16	0,76	6,01	12,9	3,56	353	4,45				
16-18	0,75	5,96	11,7	3,45	356	3,95	1,88	8,26	29,16	13,02
18-20	0,75	5,98	12,7	3,49	352	5,23				
20-23	0,76	5,84	13,6	3,48	346	5,88	1,91	26,64	29,87	4,43
23-26	0,76	5,73	13,7	3,37	324	5,28				
26-29	0,77	5,90	13,7	3,56	351	6,42	1,93	29,33	38,70	15,14
29-32	0,75	5,71	13,2	3,32	350	6,70				
32-35	0,72	6,17	8,4	3,37	374	6,18	1,77	42,01	35,13	8,27
35-38	0,67	5,66	10,9	3,02	340	6,36				
38-41	0,65	5,81	11,8	3,13	350	8,05	1,29	3,37	73,95	11,96

Station 2

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0-1	0,85	6,89	24,5	4,13	510	2,03	2,00	0,09
1-2	0,83	6,78	12,8	4,02	389	1,92	1,90	0,25
2-3	0,82	6,73	17,0	3,84	396	1,85	1,81	0,23
3-4	0,80	7,11	11,6	3,7	366	1,82	1,95	0,30
4-5	0,81	6,53	9,3	3,67	367	1,80	1,81	0,25
5-6	0,79	6,84	10,2	3,68	367	1,75	1,82	0,25
6-7	0,79	6,62	11,2	3,66	352	1,81	1,78	0,38
7-8	0,77	7,05	11,0	3,71	371	1,85	1,70	0,65
8-9	0,77	6,61	12,3	3,71	371	1,85	1,82	1,46
9-10	0,78	6,91	11,7	3,72	370	1,92	1,74	2,16
10-12	0,76	6,88	11,8	3,73	372	2,02	1,66	3,29
12-14	0,75	6,70	12,7	3,78	373	2,09	1,62	3,09
14-16	0,75	6,97	15,9	3,73	367	2,18	1,50	1,94
16-18	0,74	7,05	17,8	3,82	378	2,28	1,60	1,95
18-20	0,77	7,07	16,3	3,83	368	2,24	1,66	2,40
20-25	0,74	7,06	16,6	3,91	364	2,20	1,71	2,04
25-30	0,73	7,16	18,5	3,86	371	2,60	1,71	2,50
30-35	0,67	7,13	25,9	3,78	374	3,64	1,26	1,55
35-40	0,70	7,22	18,7	3,7	379	3,33	1,50	1,81
40-45	0,68	7,30	17,0	3,74	368	3,86	1,53	1,86

Station F9

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-1,2	0,85	6,81	19,7	4,42	496		2,03	0,00
1,2-2,0	0,82	6,85	24,5	4,21	407	2,34	1,90	0,02
2-3	0,84	6,91	16,2	4,19	374	2,82	1,87	2,27
3-4	0,83	7,16	16,5	4,23	397	2,81	1,84	
4-5	0,81	7,03	14,7	4,27	376	2,69	1,86	0,59
5-7	0,79	6,84	13,8	4,31	384	2,47	1,85	
7-9	0,81	7,17	14,9	4,42	375	2,59	1,90	1,67
9-11	0,79	7,08	14,0	4,44	385	2,47	1,80	
11-13	0,77	7,63	16,3	4,44	393	2,45	1,75	1,97
13-15	0,79	7,42	18,2	4,37	403	2,76	1,64	
15-18	0,77	7,35	19,3	4,45	453	2,21	1,72	7,17
18-21	0,77	7,42	27,6	4,59	437	2,39	1,86	
21-24	0,74	7,43	19,3	4,31	391	2,38	1,69	3,90
24-27	0,75	7,44	19,9	4,27	390	2,50	1,67	
27-30	0,76	7,15	23,7	4,40	747	2,78	1,47	0,57
30-35	0,74	7,38	20,5	4,29	395	2,51	1,61	
35-40	0,75	7,46	18,0	4,26	387	2,65	1,67	0,08
40-45	0,75	7,45	28,3	4,33	404	3,50	1,63	

Station F2

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-1,2	0,83	7,47		4,74	34,1		1,75	0,00
1,2-2,0	0,86	6,58		4,79	31,2		1,65	0,00
2-3	0,83	7,15		4,83	28,4		1,67	0,00
3-4	0,79	7,45	23,6	5,09	20,1	1,65	1,56	0,00
4-5	0,80	7,68	45,7	5,42	13,6	1,40	1,42	0,00
5-7	0,80	7,36	43,5	5,75	7,54	1,82	1,41	0,00
7-9	0,84	7,40	24,6	5,39	2,42	2,15	1,44	0,02
9-11	0,77	7,82	13,4	4,91	0,658	0,78	1,43	0,09
11-13	0,79	7,89	14,7	4,87	0,676	0,71	1,40	0,12
13-15	0,78	8,05	14,9	4,79	0,713	0,56	1,40	0,11
15-18	0,77	8,07	14,9	4,95	0,793	0,84	1,30	0,11
18-21	0,79	7,57	12,0	4,75	0,890	1,16	1,41	0,10
21-24	0,74	8,00	16,2	5,04	1,05	0,52	1,38	0,17
24-27	0,74	7,56	20,4	5,29	1,24	0,83	1,25	0,09
27-30	0,75	8,16	20,9	5,35	1,12	0,62	1,22	0,07
30-35	0,75	7,62	20,3	5,35	1,23	0,84	1,33	0,09
35-40	0,72	8,01	23,1	5,38	1,23	1,14	1,11	0,07
40-45	0,74	8,28		5,36	1,38		1,15	0,08
45-50	0,75	8,07	29,5	5,32	1,56	0,58	1,19	0,05

Station BC4

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,81	6,90	20,7	4,10	1,01	2,09	2,13	0,07	0,90	1,04
0,5-1,0	0,77	6,80	21,4	4,03	0,752	1,70	2,00	0,02		
1,0-1,5	0,76	6,65	22,8	4,00	0,568	1,58	2,01			
1,5-2,0	0,75	6,08	22,3	3,71	0,346	1,63	1,74	0,06	1,98	0,78
2-3	0,74	4,72	18,6	3,60	0,318	1,10	1,94			
3-4	0,73	5,88	14,6	3,49	0,309	1,61	1,97	0,11		
4-5	0,71	5,96	13,4	3,52	0,311	1,63	1,62	0,51	3,60	0,89
5-6	0,71	5,74	12,7	3,36	0,293	1,64	1,66	0,83		
6-7	0,70	5,50	12,5	3,21	0,284	1,66	1,56			
7-8	0,69	5,61	12,2	3,26	0,288	1,80	0,97	1,94	6,57	3,07
8-9	0,69	3,85	11,9	2,86	0,251	1,26	0,92			
9-10	0,67	5,49	12,3	3,21	0,288	1,93	0,90	3,72		
10-12	0,64	4,11	11,4	2,89	0,259	1,49	0,85	5,12	7,50	2,63
12-14	0,62	3,46	12,8	2,78	0,190	1,32	0,97	7,35		
14-16	0,63	4,51	13,5	3,12	0,269	1,70	1,30			
16-18	0,56	4,28	14,7	2,87	0,240	1,78	1,72	6,46	12,27	2,57
18-20	0,59	4,12	14,5	2,85	0,244	1,77	0,84			
20-23	0,59	4,89	14,5	2,89	0,240	2,02	1,53	6,25		
23-26	0,57	4,65	21,5	2,95	0,234	3,01	1,23	2,02	43,14	4,39
26-29	0,64	5,19	19,5	3,00	0,237	2,98	0,72	6,36		
29-32	0,60	4,33	17,9	2,89	0,234	4,26	0,95			
32-35	0,55	4,27	18,1	2,65	0,207	4,24	1,08	6,34	34,16	10,83
35-38	0,62	4,98	15,9	2,93	0,227	4,32	1,28			
38-41	0,63	5,26	16,8	3,05	0,235	4,32	1,11	6,53	54,78	12,36

Station BC5

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,80	6,02	18,1	3,96	1,03	1,86	1,80	0,03	1,31	0,37
0,5-1,0	0,77	5,97	20,6	3,78	1,23	1,69	1,93			
1,0-1,5	0,71	5,73	25,7	4,65	0,868	1,48	1,73			
1,5-2,0	0,75	6,09	23,9	4,19	0,974	1,87	2,36	0,02	1,01	0,28
2-3	0,64	4,43	18,4	3,48	0,533	1,17	1,92			
3-4	0,61	4,34	14,3	3,06	0,298	1,11	2,08			
4-5	0,63	4,77	12,7	3,13	0,275	1,58	1,56	0,16	3,13	0,58
5-6	0,66	5,03	15,5	3,45	0,289	1,32	1,98			
6-7	0,65	5,48	13,9	3,61	0,312	1,47	1,89			
7-8	0,66	5,78	11,7	3,54	0,303	1,54	1,79	0,46	4,26	0,65
8-9	0,66	5,70	13,2	3,49	0,296	1,54	1,68			
9-10	0,64	6,28	14,7	3,99	0,353	2,00	2,33			
10-12	0,63	5,45	16,7	3,47	0,297	2,23	1,99	3,11	11,61	1,70
12-14	0,65	5,56	13,2	3,39	0,289	2,02	1,83			
14-16	0,65	5,53	16,2	3,63	0,304	4,70	1,70			
16-18	0,61	5,56	16,7	3,49	0,291	2,29	1,33	4,31	24,43	5,27
18-20	0,59	5,24	18,6	3,34	0,291	2,14	1,93			
20-23	0,57	5,23	19,0	3,19	0,261	2,46	2,02	1,79	10,13	1,11
23-26	0,58	5,32	24,8	3,79	0,309	3,78	1,69			
26-29	0,58	6,74	22,4	4,62	0,423	7,78	1,39	5,53	6,17	5,43
29-32	0,54	6,73	17,4	4,57	0,490	8,01	1,12	9,43	52,94	5,74
32-35	0,53	6,95	17,9	4,14	0,468	3,66	1,17			

Station BC6

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,83	7,26	21,7	4,28	1,09	1,98	2,06	0,02	1,22	0,57
0,5-1,0	0,80	7,23	20,9	4,32	1,41	1,67	2,11			
1,0-1,5	0,80	7,12	22,4	4,27	0,646	1,83	2,05			
1,5-2,0	0,76	6,78	20,3	4,03	0,466	1,63	2,09	0,05	1,85	0,68
2-3	0,74	6,52	19,8	3,85	0,480	1,49	2,12			
3-4	0,72	6,17	18,5	3,61	0,478	1,36	1,94			
4-5	0,74	6,14	23,5	3,76	0,618	1,49	2,02	0,07	2,47	0,53
5-6	0,80	6,64	38,4	4,49	1,38	1,89	1,89			
6-7	0,82	7,46	47,7	5,51	1,72	2,08	1,94			
7-8	0,77	7,08	35,7	4,75	1,44	1,89	1,94	0,02	1,10	0,26
8-9	0,78	7,21	27,5	4,41	0,695	1,80	1,98			
9-10	0,78	6,92	28,2	4,27	0,669	1,80	1,90			
10-12	0,77	7,05	17,0	4,18	0,466	1,85	1,88	0,11	0,40	0,25
12-14	0,73	6,99	13,9	4,03	0,391	1,58	1,84			
14-16	0,70	6,85	13,6	3,91	0,395	1,66	1,76			
16-18	0,70	7,47	16,2	4,31	0,471	1,80	1,74	4,45	7,97	0,88
18-20	0,71	7,85	17,0	4,52	0,534	2,06	1,79			
20-23	0,71	7,49	28,9	4,84	0,581	2,47	1,72			
23-26	0,79	6,23	82,9	5,60	0,838	1,99	1,80	1,19	2,24	1,68
26-29	0,80	6,47	60,9	4,63	0,472	2,24	1,75			
29-32	0,81	7,11	16,9	4,60	0,438	2,61	1,84	1,97	3,01	0,53
32-35	0,80	6,60	21,2	4,20	1,10	3,34	1,78			
35-38	0,80	6,95	17,1	4,30	0,492	2,93	1,77	19,83	12,41	2,20

Station CG1

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,76	5,23	21,2	3,33	0,755	1,41	1,81			
0,5-1,0	0,73	5,20	23,6	3,44	0,726	1,25	1,36	0,01	0,53	0,14
1,0-1,5	0,73	5,69	23,7	3,61	0,755	1,31	1,29			
1,5-2,0	0,72	5,66	22,3	3,58	0,792	1,25	2,12			
2-3	0,71	5,88	22,8	3,70	0,730	1,23	1,88	0,00	0,34	0,15
3-4	0,69	5,68	15,8	3,25	0,302	1,13	1,75			
4-5	0,68	5,75	14,3	3,26	0,278	1,07	1,74			
5-6	0,68	5,78	13,9	3,19	0,229	1,05	1,69	0,03	0,79	0,17
6-7	0,67	5,74	14,1	3,19	0,251	1,00	1,64			
7-8	0,66	5,78	11,6	3,14	0,237	1,02	1,44			
8-9	0,66	5,84	11,7	3,20	0,235	1,01	1,53	0,25	1,58	0,30
9-10	0,63	5,96	10,6	3,15	0,237	1,05	1,50			
10-12	0,62	5,75	9,7	3,03	0,212	1,02	1,32			
12-14	0,63	6,65	8,3	3,20	0,219	1,02	1,50	0,44	1,61	0,24
14-16	0,62	6,24	9,0	3,11	0,213	1,09	1,54			
16-18	0,62	6,30	9,7	3,11	0,213	1,17	1,48			
18-20	0,62	6,14	10,6	3,11	0,208	1,31	1,37	0,38	9,07	2,31
20-23	0,62	6,07	12,0	3,10	0,208	1,28	1,51	0,17	6,34	1,83
23-26	0,63	6,39	12,9	3,21	0,218	1,54	1,44			
26-29	0,64	6,55	13,0	3,28	0,218	1,64	1,52	1,00	13,90	2,20
29-32	0,64	6,66	11,9	3,37	0,220	1,42	1,29			
32-35	0,63	6,52	10,4	3,27	0,209	1,34	1,39	0,11	7,40	1,54
35-38	0,62	6,75	11,7	3,24	0,216	1,44	1,45			
38-41	0,63	6,59	13,4	3,22	0,221	1,62	1,37	0,14	9,62	0,72

Station CG2

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,87	8,33	32,7	4,74	3,07	2,84		0,04		
0,5-1,0	0,86	8,13	32,3	4,66	3,28	2,61	1,61			
1,0-1,5	0,85	8,07	33,0	4,69	3,31	2,51	1,56	0,03		
1,5-2,0	0,83	8,32	33,2	4,81	3,50	2,26	1,47	0,02	1,25	0,32
2-3	0,82	8,40	34,1	4,90	3,57	2,23	1,50	0,02		
3-4	0,81	8,35	30,8	4,85	3,41	2,03				
4-5	0,79	8,48	30,5	4,91	3,19	1,92	1,41	0,01	0,22	0,26
5-6	0,79	8,50	32,3	4,94	3,60	1,91	1,34			
6-7	0,78	8,71	33,3	5,10	7,15	1,88	1,30	0,07		
7-8	0,78	8,41	39,2	5,13	5,45	1,75		0,01	0,49	0,18
8-9	0,78	8,51	35,4	5,06	5,23	1,76		0,05		
9-10	0,77	8,31	60,9	6,01	1,41	1,68				
10-12	0,76	8,16	75,2	6,48	1,72	1,64		0,02	0,54	0,25
12-14	0,74	7,95	70,7	6,61	0,459	1,31	1,13			
14-16	0,75	8,69	8,4	4,12	0,239	1,36	1,20	0,07		
16-18	0,73	8,71	9,5	4,52	0,240	1,25	1,16	0,03	1,10	0,22
18-20	0,73	9,02	7,0	3,84	0,238	1,35	1,26	0,05		
20-23	0,74	8,89	8,2	3,87	0,259	1,45	1,32			
23-26	0,75	8,51	10,4	3,94	0,302	1,38	1,30	0,39		
26-29	0,76	8,92	10,3	4,19	0,326	1,49	1,23	0,56	1,34	0,46
29-32	0,76	8,78	12,5	4,45	0,366	1,58	1,25	0,27		
32-35	0,76	8,63	14,0	4,47	0,372	1,66	1,25			
35-38	0,74	8,73	14,6	4,50	0,391	1,67	1,26	0,09	3,48	0,77
38-41	0,76	8,53	15,3	4,62	0,408	1,87	1,26			
41-44	0,76	8,08	16,6	4,42	0,398	1,85	1,23	2,96		

Station CG3

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{CRS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	S _{ES} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0,0-0,5	0,84	8,09	30,2	4,86	4,98	2,62	1,76			
0,5-1,0	0,83	7,93	30,0	4,73	5,37	2,39		0,00	0,95	0,26
1,0-1,5	0,82	8,13	30,3	4,76	5,93	2,35	1,60			
1,5-2,0	0,81	7,68		4,60	6,62	2,11				
2-3	0,81	8,11	29,9	4,82	13,94	2,31	1,49	0,01	0,80	0,29
3-4	0,80	7,96	29,5	4,77	13,88	2,12				
4-5	0,77	8,14	29,9	4,91	9,06	1,97	1,48			
5-6	0,76	8,22	28,2	4,84	4,28	1,81		0,01	0,85	0,29
6-7	0,76	8,15	29,7	4,91	6,29	1,77	1,46			
7-8	0,75	8,22	28,9	4,87	10,26	1,82				
8-9	0,75	8,20	30,3	4,90	11,56	1,76	1,46	0,00	0,87	0,17
9-10	0,75	8,38	30,3	4,95	4,93	1,72				
10-12	0,75	8,13	43,4	5,19	7,92	1,77	1,38			
12-14	0,75	8,12	65,1	6,57	2,37	1,83		0,00	0,44	0,47
14-16	0,76	8,40	59,8	5,76	1,22	1,77	1,39			
16-18	0,76	8,34	29,2	4,96	0,912	1,54				
18-20	0,75	8,45	22,6	4,69	0,876	1,45	1,33	0,09	1,22	0,33
20-23	0,75	8,27	40,4	5,17	1,09	1,57				
23-26	0,75	8,41	25,3	4,83	0,850	1,48	1,33	0,13	1,03	0,30
26-29	0,74	8,50	23,4	4,62	0,832	1,48				
29-32	0,76	8,36	28,6	5,18	0,843	1,63	1,30	0,41	1,48	0,40
32-35	0,75	8,64	22,4	4,62	0,782	1,49				
35-38	0,75	8,40		4,92	0,927	1,55	1,26	1,21	2,04	0,92
38-41	0,75	8,20		5,04	0,900	1,53				

Station SS3

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})
0 - 0.4	0,85	8,41	33,2	5,07	1,85	1,44
0.4 - 0.8	0,83	8,69	28,2	5,17	1,89	1,46
0.8 - 1.2	0,82	8,64	28,5	5,15	1,94	1,44
1.2 - 1.6	0,81	8,57	22,5	5,08	1,73	1,35
1.6 - 2.0	0,79	8,68	27,2	5,06	2,04	1,44
2 - 3	0,78	8,65	26,5	5,14	4,46	1,52
3 - 4	0,78	8,34	35,6	5,59	2,56	1,52
4 - 5	0,77	8,56	49,1	6,29	1,47	1,39
5 - 7	0,75	8,82	31,9	5,33	0,37	1,62
7 - 9	0,75	8,56	31,0	5,25	0,38	1,50
9 - 11	0,75	8,36	64,1	6,02	0,44	1,50
11 - 13	0,73	8,66	42,8	5,58	0,34	1,40
13 - 15	0,73	8,73	26,2	5,19	0,29	1,33
15 - 18	0,69	8,83	16,2	4,59	0,27	1,19
18 - 21	0,69	8,87	16,3	4,39	0,26	1,23
21 - 24	0,70	8,63	18,0	4,42	0,26	1,25
24 - 27	0,71	9,00	15,4	4,60	0,27	1,33
27 - 30	0,71	8,83	15,5	4,68	0,28	1,28
30 - 35	0,73	8,95	19,6	4,62	0,27	1,47
35 - 40	0,71	8,84	14,6	4,52	0,26	1,33

Station L50

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})
0 - 0.4	0,89	9,59	35,4	5,70	6,16	1,95
0.4 - 0.8	0,88	9,55	33,3	5,59	5,80	2,00
0.8 - 1.2	0,87	9,43	34,5	5,57	5,69	1,99
1.2 - 1.6	0,85	9,28	34,6	5,50	6,18	1,80
1.6 - 2.0	0,84	9,40	30,0	5,50	6,83	1,83
2 - 3	0,83	9,32	31,5	5,47	8,00	1,92
3 - 4	0,82	9,35	33,4	5,59	9,49	1,83
4 - 5	0,79	8,88	32,9	5,25	19,6	2,04
5 - 7	0,79	9,15	31,1	5,30	14,2	1,92
7 - 9	0,76	9,04	32,9	5,50	3,50	1,74
9 - 11	0,75	9,33	32,3	5,62	8,14	1,96
11 - 13	0,76	9,52	50,7	6,04	3,74	1,61
13 - 15	0,77	9,04	108,2	6,81	1,71	1,70
15 - 18	0,77	9,54	58,5	5,81	1,10	1,40
18 - 21	0,75	9,45	35,9	5,29	1,03	1,38
21 - 24	0,77	9,48	76,3	6,26	1,16	1,52
24 - 27	0,78	9,61	31,8	5,55	0,96	1,49
27 - 30	0,78	9,47	30,4	5,91	1,00	1,33
30 - 35	0,77	9,38	31,9	5,59	1,01	1,51
35 - 40	0,76	9,82	26,1	5,46	1,30	1,29

Station 11

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})
0-1	0,82	7,62	42,7	4,96	8,64	2,32
1-2	0,77	7,29	34,3	4,82	7,86	14,0
2-3	0,76	7,27	29,7	4,67	7,26	1,54
3-4	0,74	6,71	27,9	4,30	6,11	1,25
4-5	0,68	7,36	27,1	4,47	5,05	1,19
5-6	0,75	7,31	29,1	4,58	4,29	0,98
6-7	0,65	7,15	26,9	4,46	3,87	0,86
7-8	0,64	7,27	27,7	4,52	4,20	0,92
8-9	0,64	7,58	27,8	4,78	4,45	0,91
9-10	0,63	7,72	26,4	4,81	3,69	0,88
10-12	0,59	8,26	28,1	5,22	2,73	0,78
12-14	0,62	8,22	26,4	4,90	1,63	0,75
14-16	0,60	7,80	26,1	4,50	1,01	0,66
16-18	0,66	8,24	26,7	4,57	1,11	0,73
18-20	0,64	8,93	27,1	4,99	0,78	0,78
20-25	0,70	9,18	26,3	5,34	1,15	0,76
25-30	0,65	9,14	29,2	5,63	1,55	0,78
30-35	0,67	9,31	25,6	6,11	1,32	0,83
35-40	0,68	9,67	26,0	6,25	1,52	0,81
40-45	0,71	9,64	27,7	6,25	1,52	0,91
45-48	0,70	9,80	23,8	6,44	0,87	0,82

Station E1

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)
0,0-1,2	0,79	8,80	42,5	5,84	6,90	1,49	1,00
1,2-2,0	0,77	8,75	44,3	5,87	7,08	1,34	1,00
2-3	0,71	9,01	43,5	5,83	7,16	1,02	0,86
3-4	0,77	8,65	36,0	5,62	6,85	1,33	0,82
4-5	0,70	8,92	43,6	5,82	7,10	1,01	0,68
5-7	0,73	9,11	42,7	5,79	6,83	1,08	0,68
7-9	0,72	9,37	40,1	5,68	6,94	1,04	0,56
9-11	0,71	9,14	37,8	5,64	6,97	1,03	0,56
11-13	0,71	9,01	37,6	5,55	6,96	1,03	0,49
13-15	0,76	9,13	35,8	5,42	6,97	1,15	0,41
15-18	0,72	9,19	35,8	5,41	7,21	1,04	0,53
18-21	0,66	9,26	36,8	5,50	7,85	0,85	0,50
21-24	0,68	9,04	32,8	5,02	5,62	0,89	0,48
24-27	0,62	8,37	30,3	4,73	3,16	0,68	0,44
27-30	0,64	9,01	32,9	4,94	2,93	0,68	0,30
30-35	0,61	9,24	36,2	5,13	1,75	0,67	0,35
35-40	0,56	9,38	36,8	5,26	1,67	0,53	0,19
40-45	0,60	9,40	40,2	5,36	2,11	0,61	0,22
45-50	0,59	9,58	41,0	5,48	3,48	0,60	0,47

Station C1

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})
0-1.2	0,86	8,18	40,5	5,63	8,19	2,73
1.2-2	0,79	7,75	31,6	5,28	7,63	1,82
2-3	0,79	4,36	14,4	2,49	3,50	0,90
3-4	0,81	8,38	33,0	5,83	8,04	1,95
4-5	0,75	8,19	34,7	5,68	7,85	1,69
5-7	0,79	8,42	33,5	5,73	7,88	1,88
7-9	0,77	8,39	31,8	5,66	7,25	1,64
9-11	0,76	8,19	26,9	5,51	6,61	1,51
11-13	0,74	8,21	29,4	5,44	5,77	1,35
13-15	0,71	8,43	24,3	5,46	5,19	1,20
15-18	0,66	8,35	27,3	5,20	4,12	1,03
18-21	0,63	8,49	23,0	4,92	2,70	0,95
21-24	0,57	7,55	20,4	4,27	1,84	0,80
24-27	0,59	7,40	25,9	4,19	1,16	0,78
27-30	0,57	7,05	26,0	4,07	0,96	0,74
30-35	0,56	7,48	24,9	4,66	1,16	0,66
35-40	0,65	9,20	27,4	5,87	0,92	3,60
40-45	0,60	8,70	27,9	5,45	0,90	1,37
45-50	0,59	8,49	23,8	4,69	1,20	0,88

Station 18

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0-1	0,82	7,44	39,8	4,42	7,08	2,16	0,62	0,00
1-2	0,76	7,66	41,6	4,53	6,98	1,67	0,63	0,00
2-3	0,73	8,03	43,2	4,54	6,74	1,27	0,60	0,00
3-4	0,73	7,90	41,4	4,51	6,04	1,19	0,47	0,00
4-5	0,70	7,96	40,1	4,35	4,39	1,07	0,43	0,00
5-6	0,69	7,96	37,8	4,3	2,89	0,99	0,39	0,01
6-7	0,64	8,54	46,0	4,5	1,80	1,05	0,37	0,02
7-8	0,65	9,08	51,9	4,83	1,52	0,96	0,44	0,05
8-9	0,73	9,38	57,5	5,34	2,17	1,02	0,40	0,09
9-10	0,74	8,97	46,3	5,16	3,04	1,07	0,37	0,11
10-12	0,73	9,06	48,6	5,2	4,29	1,27	0,23	0,11
12-14	0,62	7,77	43,4	4,48	3,99	0,91	0,22	0,10
14-16	0,60	7,83	42,0	4,28	2,45	0,86	0,18	0,10
16-18	0,61	6,53	38,5	3,74	2,99	0,86	0,18	0,09
18-20	0,68	6,68	38,3	3,86	4,77	0,96	0,20	0,12
20-25	0,75	7,63	49,5	4,75	10,32	1,48	0,21	0,14
25-30	0,65	8,13	43,4	4,49	7,24	1,01	0,21	0,11
30-35	0,66	8,59	47,3	4,57	1,60	0,86	0,20	0,08
35-40	0,66	7,85	45,0	4,22	1,75	0,83	0,14	0,10
40-45	0,63	7,68	43,7	4,26	3,21	0,88	0,20	0,10
45-49	0,65	7,40	36,0	4,42	4,02	0,96	0,23	0,09

Station 26

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})	C _{ORG} (%)	S _{AVS} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
0-1	0,73	7,65	36,5	4,55	6,55		0,62	0,00
1-2	0,77	8,31	39,5	4,71	6,38	1,30	0,54	0,00
2-3	0,71	8,23	39,0	4,72	5,99	1,06	0,47	0,01
3-4	0,68	8,56	38,0	4,7	4,28	0,87	0,41	0,01
4-5	0,68	8,36	36,0	4,52	3,16	0,82	0,40	0,01
5-6	0,67	9,13	36,9	4,58	2,69	0,80	0,31	0,02
6-7	0,70	9,04	33,5	4,96	3,54	0,92	0,27	0,01
7-8	0,71	9,53	37,0	5,22	4,31	1,04	0,22	0,03
8-9	0,72	8,94	36,3	5,05	4,54	1,05	0,22	0,04
9-10	0,70	8,62	35,7	4,96	3,93	1,01	0,19	0,04
10-12	0,70	9,2	34,5	4,96	2,95	0,90	0,22	0,04
12-14	0,70	8,56	35,7	4,77	3,43	0,89	0,20	0,05
14-16	0,70	9,21	36,1	5,01	3,80	0,87	0,18	0,05
16-18	0,68	9,94	37,2	5,63	3,53	0,98	0,20	0,06
18-20	0,76	10,47	-	5,8	3,44	1,02	0,19	0,06
20-25	0,75	10,15	37,0	5,78	3,27	0,94	0,19	0,06
25-30	0,72	10,01	35,1	5,62	2,97	0,87	0,19	0,07
30-35	0,70	9,76	33,2	5,34	2,16	0,84	0,18	0,06
35-40	0,71	8,53	30,2	4,77	7,13	0,97	0,17	0,07
40-45	0,68	8,27	32,1	4,26	2,63	0,64	0,16	0,06

Station E4

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})
0-1.2	0,77	8,24	34,4	5,68	7,04	1,61
1.2-2	0,78	8,27	31,7	5,68	6,97	1,69
2-3	0,77	8,27	30,3	5,54	6,65	1,60
3-4	0,73	8,53	35,1	5,77	6,77	1,32
4-5	0,73	8,36	33,3	5,63	6,50	1,32
5-7	0,69	8,44	31,2	5,67	6,47	1,13
7-9	0,65	8,61	30,9	5,80	6,55	1,04
9-11	0,71	8,64	32,9	5,78	6,38	1,23
11-13	0,67	8,72	33,4	5,61	5,40	1,98
13-15	0,65	8,74	30,5	5,49	4,95	0,95
15-18	0,64	8,85	33,1	5,54	4,42	0,89
18-21	0,63	8,76	30,0	5,42	2,79	0,80
21-24	0,58	8,82	30,0	5,37	1,70	0,67
24-27	0,58	8,37	27,8	5,08	1,26	0,64
27-30	0,57	8,70	28,3	5,24	1,13	0,62
30-35	0,56	8,57	25,2	5,19	1,61	0,63
35-40	0,58	8,85	21,9	5,44	2,68	0,66
40-45	0,57	8,34	27,4	5,18	1,98	0,61
45-50	0,61	8,48	32,8	5,34	1,65	0,79

Station TC

Profondeurs (cm)	Porosité	Al (%)	[As] ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Fe (%)	Mn (mg g^{-1})	S (mg g^{-1})
0-1.2	0,73	7,40	28,7	4,99	10,2	1,64
1.2-2	0,83	7,69	26,0	5,17	10,6	1,95
2-3	0,82	7,87	27,2	5,26	10,8	1,94
3-4	0,77	7,91	29,4	5,33	11,0	1,54
4-5	0,73	7,82	31,1	5,19	10,6	1,33
5-7	0,73	7,97	30,0	5,34	11,0	1,31
7-9	0,73	8,14	28,3	5,42	11,2	1,30
9-11	0,71	8,29	30,5	5,46	11,0	1,16
11-13	0,69	8,36	30,3	5,50	11,9	1,12
13-15	0,66	8,37	30,5	5,50	10,1	0,98
15-18	0,69	8,50	27,5	5,52	9,23	1,04
18-21	0,69	8,69	30,0	5,58	4,22	1,03
21-24	0,67	8,79	27,7	5,61	3,37	0,94
24-27	0,68	8,60	25,3	5,42	2,65	0,92
27-30	0,65	8,93	28,8	5,63	4,49	0,80
30-35	0,63	9,12	26,1	5,65	5,20	0,74
35-40	0,63	8,99	27,6	5,67	6,29	0,70
40-45	0,65	8,87	36,0	6,20	7,86	0,77
45-50	0,64	8,86	44,4	6,87	2,13	0,74

