

Série de la Protection de l'environnement



Document d'orientation sur
le prélèvement et la
préparation de sédiments en
vue de leur caractérisation
physicochimique et d'essais
biologiques

Rapport SPE 1/RM/29
Décembre 1994

Document d'orientation sur le prélèvement et la préparation de sédiments en vue de leur caractérisation physicochimique et d'essais biologiques

Section de l'élaboration et de l'application
Centre de technologie environnementale
Environnement Canada
Ottawa (Canada)

Rapport SPE 1/RM/29
Décembre 1994

DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)

Vedette principale au titre:

Document d'orientation sur le prélèvement et la
préparation de sédiments en vue de leur caractérisation
physicochimique et d'essais biologiques

(Rapport SPE ; 1/RM/29)

Publ. aussi en anglais sous le titre : Guidance document
on collection and preparation of sediments for physicochemical
characterization and biological testing

ISBN 0-660-95144-4

N° de cat. En49-24/1-29F

1. Sédiments marins – Analyse.
2. Toxicité -- Test -- Méthodologie.
- I. Canada. Direction générale du développement technologique.
- II. Canada. Environnement Canada.
- III. Coll. : Rapport (Canada. Environnement Canada);
SPE 1/RM/29

QD79.S4G8414 1996 551.4'6083 C96-980105-X

Commentaires

Prière d'adresser vos commentaires et observations sur la teneur du présent rapport à :

Richard Scroggins
Section de l'élaboration et d'application des méthodes
Centre de technologie environnementale
Environnement Canada
335 River Road
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

This publication is also available in English under the title "*Guidance document on collection and preparation of sediments for physicochemical characterization and biological testing*". For copies, please contact:

Environmental Protection Publications
Direction de l'avancement des technologies environnementales
Environnement Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Le présent guide a été révisé par le Module des publications de la Direction générale du développement technologique d'Environnement Canada.

Résumé

Le présent document décrit les méthodes recommandées par Environnement Canada pour le choix de stations d'échantillonnage sur les lieux d'une étude ainsi que pour le prélèvement, la manutention, l'entreposage, le transport et la manipulation d'échantillons de sédiments entiers provenant de milieux marins, estuariens et d'eau douce. On utilise ces échantillons entiers, l'eau de porosité qu'ils contiennent ou des éluutriats produits à partir de ces sédiments à des fins de caractérisation physicochimique et d'évaluation biologique.

Des méthodes et des modes opératoires généraux sont décrits pour deux types d'études :

- les études de surveillance et d'évaluation (section 2);*
- les études requises pour l'obtention des permis d'immersion en eau libre de matières draguées (section 3).*

Les modes opératoires généraux comprennent des méthodes recommandées pour le prélèvement de sédiments d'essai, de contrôle et de référence, pour le prélèvement sur place de l'eau de porosité, pour la manutention, le transport et l'entreposage des échantillons ainsi que pour la préparation des échantillons de sédiments entiers en vue d'essais de bioaccumulation, de caractérisation physicochimique et de toxicité. On y trouve aussi des méthodes recommandées pour l'extraction de l'eau de porosité et pour l'obtention d'éluutriats en laboratoire, à partir d'échantillons de sédiments entiers prélevés sur le terrain. Le document contient également des modes opératoires additionnels tenant compte des conditions propres à chacun des milieux aquatiques visés.

Abstract

This document describes methods recommended by Environment Canada (EC) for the selection of sampling stations within a study site, and the collection, handling, storage, transportation, and manipulation of samples of whole sediments from marine, estuarine, and freshwater environments, for the purposes of physicochemical characterization and/or biological assessment using whole sediments, pore waters, or sediment elutriates.

General methods and procedures are outlined for two types of undertakings:

- monitoring and assessment studies (Section 2), and*
- studies specified in permit requirements for open-water disposal of dredged materials (Section 3).*

Included in the general procedures are recommended methods of collection for test, control and reference sediment, in-situ collection of pore water, sample handling, transportation, storage methods or conditions, and whole-sediment sample preparation for bioaccumulation tests, physiochemical characterization, and/or toxicity testing. Methods are also recommended for the laboratory collection of pore water and elutriate from field-collected whole-sediment samples. Additional procedures or conditions specific to the various aquatic environments are also addressed.

Avant-propos

Environnement Canada a créé une collection de documents d'orientation et de méthodes recommandées pour la mesure et l'évaluation des effets biologiques des substances toxiques présentes dans les milieux d'eau douce, estuariens et marins.

Les méthodes recommandées ont été évaluées par le Service de la protection de l'environnement (SPE) et le Service de la conservation de l'environnement (SCE). On en préconise l'emploi :

- *dans les laboratoires du SPE ou du SCE qui étudient la toxicité en milieu aquatique;*
- *pour les essais confiés par Environnement Canada à des laboratoires de l'extérieur ou demandés à des organismes de l'extérieur ou à des entreprises;*
- *dans les situations où l'on ne dispose pas d'instructions plus précises, comme celles que prévoient les règlements;*
- *comme fondement à des instructions très explicites susceptibles d'être exigées dans un protocole réglementaire ou une méthode de référence normalisée.*

L'objet des rapports de la collection est d'orienter les utilisateurs et de faciliter l'emploi de méthodes cohérentes, bien adaptées et complètes pour l'obtention de données sur les effets toxiques d'échantillons de substances chimiques, d'effluents, d'élutriats, de lixiviats, de milieux récepteurs ou de sédiments. Le présent document doit servir de complément aux méthodes d'essais biologiques de la Série de la Protection de l'environnement dans lesquelles on décrit des essais de toxicité ou de bioaccumulation portant sur des sédiments entiers, de l'eau de porosité ou des élutriats de sédiments. On doit absolument suivre les modes opératoires qui y sont décrits pour le prélèvement, la manutention, le transport, l'entreposage et la manipulation de ces trois types de matières si l'on veut assurer l'acceptabilité et la réussite des essais menés selon les méthodes recommandées d'évaluation toxicologique des sédiments. Le document renferme beaucoup de conseils, mais les lecteurs sont invités à consulter les travaux d'origine pour connaître le détail des méthodes.

La mention d'appellations commerciales dans le présent document ne constitue nullement une recommandation de la part de l'Environnement Canada; on peut utiliser d'autres produits (p. ex., matériel et équipement) de qualité égale.

Table de matières

Résumé	v
Abstract	vi
Avant-propos	vii
Liste des tableaux	xii
Liste des figures	xiii
Abréviations et formules chimiques	xiv
Glossaire	xvi
Remerciements	xxv

Section 1

Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Importance et utilisation du document	1

Section 2

Marche à suivre pour les études de surveillance et d'évaluation	4
2.1 Survol	4
2.2 Objet de l'étude	4
2.3 Plan de l'étude	5
2.3.1 Délimitation de la zone d'étude et du lieu de l'étude	6
2.3.2 Données historiques, détermination des sources potentielles, état actuel	6
2.3.3 Détermination des zones de dépôt	6
2.3.4 Choix des stations d'échantillonnage	8
2.3.5 Méthodes de positionnement des stations d'échantillonnage	11
2.3.6 Taille de l'échantillon, nombre d'échantillons, échantillons répétés	12
2.3.7 Préparatifs de l'échantillonnage	18
2.4 Mesures et observations sur le terrain	21
2.5 Prélèvement des sédiments entiers	22
2.5.1 Critères et facteurs à prendre en considération pour la sélection de l'échantillonneur	25
2.5.2 Profondeur de pénétration	31
2.5.3 Fonctionnement de l'échantillonneur	31
2.5.4 Critères d'acceptabilité	33
2.5.5 Prélèvement d'échantillons de contrôle et de référence	33
2.6 Prélèvement sur place de l'eau de porosité	33
2.7 Manutention des échantillons	34
2.7.1 Carottes	36
2.7.2 Prélèvements par benne	39
2.8 Transport et entreposage des prélèvements de sédiments et d'eau de porosité	40

2.8.1	Récipients et conditions d'entreposage	41
2.8.2	Entreposage des échantillons sur le terrain	46
2.8.3	Conditions de transport et réglementation	47
2.9	Manipulation des échantillons prélevés	48
2.9.1	Préparation des prises d'essai de sédiments pour les essais biologiques (mesure de la toxicité ou de la bioaccumulation)	49
2.9.2	Préparation des prises d'essai pour la caractérisation chimique	56
2.9.3	Préparation des prises d'essai constituées d'eau de porosité	58
2.9.4	Préparation des prises d'essai pour l'extraction d'un éluat	59
2.10	Sommaire des recommandations pour les études de surveillance et d'évaluation	60

Section 3

	Marche à suivre pour les études sur l'immersion en eau libre	69
3.1	Introduction	69
3.2	Objet de l'étude	69
3.3	Délimitation de la zone d'étude et du lieu de l'étude	71
3.3.1	Plan d'échantillonnage	71
3.3.2	Données historiques, détermination des sources potentielles, état actuel	72
3.3.3	Méthodes de détermination de l'emplacement des stations d'échantillonnage	72
3.3.4	Méthodes de positionnement	78
3.3.5	Taille des échantillons, nombre d'échantillons, échantillons répétés	78
3.4	Prélèvement d'échantillons de sédiments entiers	81
3.4.1	Prélèvement des échantillons sur les lieux de dragage et les lieux d'immersion	82
3.4.2	Prélèvement de sédiments de référence	84
3.4.3	Prélèvement de sédiments de contrôle pour l'évaluation biologique	86
3.5	Manutention des prélèvements	87
3.5.1	Carottes de sédiments des lieux de dragage ou d'immersion	87
3.5.2	Échantillons de surface prélevés au moyen d'un carottier à boîte ou d'une benne sur les lieux de dragage, d'immersion, de référence ou de contrôle	88
3.6	Transport et entreposage des prélèvements de sédiments	89
3.7	Préparation des prises d'essai à partir des prélèvements	89
3.7.1	Préparation des prises d'essai pour les essais de toxicité sur le sédiment entier	89
3.7.2	Préparation des prises d'essai pour la caractérisation chimique	90
3.7.3	Préparation des prises d'essai pour l'extraction de l'eau de porosité	90

3.8	Assurance et contrôle de la qualité de l'échantillonnage en vue de l'immersion des matières draguées en eau libre	90
3.9	Sommaire des recommandations pour les études en vue de l'immersion en eau libre	91
3.9.1	Plan de l'étude	91
3.9.2	Prélèvement des échantillons et saisie des données	93
3.9.3	Manutention des échantillons	95
3.9.4	Récipients à échantillon	98
3.9.5	Transport des échantillons	98
3.9.6	Entreposage des échantillons	98
3.9.7	Préparation des prises d'essai	98
	Références	99
	<i>Annexe A</i>	
	Membres du Groupe intergouvernemental sur la toxicité aquatique	116
	<i>Annexe B</i>	
	Adresses de l'Administration centrale et des bureaux régionaux du Service de la protection de l'environnement	117
	<i>Annexe C</i>	
	Formules statistiques pour le calcul du nombre d'échantillons	118
	<i>Annexe D</i>	
	Prélèvement sur place de l'eau de porosité	121
	<i>Annexe E</i>	
	Transport et entreposage des prélèvements	124
	<i>Annexe F</i>	
	Extraction de l'eau de porosité des échantillons de sédiment	127
	<i>Annexe G</i>	
	Nombre d'échantillons de sédiment à prélever pour des projets de dragage (ou des strates) de différentes tailles	131
	<i>Annexe H</i>	
	Formulaire de renseignements : Données exigées sur les prélèvements d'organismes; Données exigées sur les prélèvements de sédiments; Attestation de la chaîne de possession; Demande de permis (immersion en mer)	132

Liste des tableaux

1	Paramètres historiques et pratiques de la sélection des stations d'échantillonnage en vue d'une étude de surveillance ou d'évaluation	7
2	Méthodes de positionnement des stations d'échantillonnage	13
3	Volume ou poids minimal d'échantillon requis pour la mesure de chaque paramètre	16
4	Facteurs dont il faudrait tenir compte pour la sélection des échantillonneurs de sédiments	26
5	Avantages et limites de différents échantillonneurs de sédiments les plus fréquemment utilisés	27
6	Sommaire des diverses méthodes de prélèvement sur place de l'eau de porosité	35
7	Types de récipients et conditions recommandés pour l'entreposage des échantillons de sédiments ou d'eau de porosité	42
8	Recommandations pour le traitement préalable des récipients destinés à recevoir les échantillons de sédiment ou d'eau de porosité	45
9	Méthodes de stérilisation des sédiments, de séparation des organismes et d'inhibition de leur croissance et méthodes biocides	52
10	Nombre de quadrats à échantillonner dans un projet de dragage stratifié en fonction de données historiques et de zones potentiellement contaminées	77

Liste des figures

1	Organigramme de la matière du présent document	3
2	Stratégies d'échantillonnage pour la surveillance et l'évaluation de sédiments contaminés	10
3	Échantillonneurs recommandés pour différents types de milieux d'eau douce	23
4	Échantillonneurs recommandés pour différents types de milieux estuariens	24
5	Échantillonneurs recommandés pour différents types de milieux marins	24
6	Préparation des prises d'essai pour la détermination de la toxicité de sédiments en phase solide	50
7	Préparation des prises d'essai pour la caractérisation physicochimique ainsi que pour l'extractions de l'eau de porosité et des éluviats de sédiments	51
8	Utilisations potentielles des sédiments prélevés sur les lieux de dragage, d'immersion et de référence	70
9	Établissement des quadrats pour le choix des stations d'échantillonnage dans un projet non stratifié	75
10	Projet de dragage comportant des zones potentiellement contaminées	75
11	Projet de dragage combinant stratification et données historiques pour la détermination du nombre et de l'emplacement des stations d'échantillonnage	76

Abréviations et formules chimiques

Ag	argent	kg	kilogramme
Al	aluminium	kHz	kilohertz
AQ	assurance de la qualité	km	kilomètre
AQ/CQ	assurance et contrôle de la qualité	L	litre
Ba	baryum	Li	lithium
Be	béryllium	LORAN	(<i>LONG-range RAdio Navigation</i>) loran
BPC	biphényles polychlorés	m	mètre
Ca	calcium	M	molaire
Cd	cadmium	m ²	mètrecarré
CEC	capacité d'échange cationique	MC	marque de commerce
CID	carbone inorganique en dissous	mg	milligramme
Cl	chlore	Mg	magnésium
cm	centimètre	min	minute
cm ³	centimètre cube	mL	millilitre
Co	cobalt	mm	millimètre
CO ₂	dioxyde de carbone	Mn	manganèse
COD	carbone organique en dissous	Mo	molybdène
COT	carbon organique total	MVT	matières volatiles totales
CQ	contrôle de la qualité	N _(K.L.)	azote Kjeldahl total
Cr	chrome	N _(NH4)	azote ammoniacal
CT	carbone total	N _(NO2)	azote nitreux
Cu	cuivre	N _(NO3)	azote nitrique
CuSO ₄	sulfate de cuivre	Na	sodium
DI	diamètre intérieur	Na ₂ SO ₄	sulfate de sodium
EC	Environnement Canada	Ni	nickel
EDTA	acide éthylènediaminetétracétique	NMP	norme minimale de performance
F	fluor	O ₂	oxygène
Fe	fer	OD	oxygène en dissous (concentration)
g	accélération due à la pesanteur (9,8 m/s ²)	OQD	objectifs de qualité des données
g	gramme	P	phosphore
GPS	(Global Positioning System) système de positionnement global	Pb	plomb
h	heure	PF	perte au feu
H ₂ O	eau	PVC	(<i>PolyVinyl Chloride</i>) chlorure de polyvinyle
H ₂ O _{d.d.}	eau distillée désionisée	®	marque déposée, nom déposé
H ₂ SO ₄	acide sulfurique	radar	(<i>RAdio Detection And Ranging</i>)
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques	rH	potentiel d'oxydoréduction
HCl	acide chlorhydrique	s	seconde
Hg	mercure	S	soufre
HNO ₃	acide nitrique	SATNAV	(<i>SATellite NAVigation</i>) navigation par satellite
K	potassium		

Sb antimoine
Si silicium
SI Système international d'unités
SiO₂ silice ou dioxyde de silicium
SO₄ sulfate
Sr strontium
SVA sulfure volatil acide
USEPA Environmental Protection
 Agency des États-Unis
Va vanadium
Zn zinc
± plus ou moins

< inférieur à
> supérieur à
≤ inférieur ou égal à
≥ supérieur ou égal à
% pour cent
‰ pour mille
° degré
° C degré Celsius
σ écart-type
µg microgramme
µm micromètre, micron

Glossaire

Nota : Les définitions, qui pourraient ne pas convenir dans un autre contexte, valent dans le cadre du présent rapport.

Auxiliaires modaux

Devrait (devraient) et la forme impersonnelle *il faudrait* expriment une recommandation ou une marche à suivre dans la mesure du possible.

Doit (doivent) exprime l'obligation absolue.

Peut (peuvent) exprime l'autorisation ou la capacité de faire quelque chose, selon le contexte.

Pourrait (pourraient) exprime la possibilité que quelque chose existe ou se produise.

Termes techniques généraux

Addition - Action d'ajouter une quantité connue d'une substance à expérimenter à un échantillon de sédiment. On peut à cette fin employer un solvant comme véhicule, après quoi on brasse bien le tout pour y répartir également la substance.

Aléatoire - 1. Se dit de ce qui possède la même probabilité statistique de se produire, quelle que soit la distribution des variables de l'échantillon (p. ex., dans l'espace, le temps ou ces deux dimensions). - 2. Se dit d'une stratégie d'échantillonnage sans modèle particulier de positionnement des stations d'échantillonnage, parce que chaque station a une probabilité égale d'être choisie. Synonyme : "stochastique"; antonyme : "systématique".

Artefact - Caractéristique indésirable (p. ex., modification chimique ou physique) décelable dans un substrat et due à des phénomènes qui s'y sont déroulés ou à la manipulation du substrat.

Assurance de la qualité - Ensemble des moyens administratifs et techniques (p. ex., planification, contrôle, évaluation, rapports, correctifs) visant à faire en sorte qu'un produit final est d'une qualité connue ou fiable.

Bathymétrie - 1. Mesure des profondeurs d'eau.- 2. Résultat de ces mesures.

Benne - Appareil utilisé pour prélever un sédiment. Il consiste généralement soit en une paire de mâchoires qui se referment sur le sédiment, soit en un godet qui se retourne en mordant dans le sédiment lorsqu'il touche le fond.

Benthique - Se dit du milieu correspondant au fond des mers ou des lacs ainsi que des organismes qui y vivent ou des matières qui en proviennent.

Benthos - Ensemble des organismes aquatiques vivant sur le fond des mers ou des lacs ou à proximité. Cf. “fond”.

Caractérisation physicochimique - Analyse d'un sédiment ou d'une eau interstitielle pour en déterminer les propriétés physicochimiques ou les constituants (p. ex., le pH, la répartition granulométrique, la concentration des principaux ions, la capacité d'échange cationique, le potentiel d'oxydoréduction, la salinité et la teneur en ammoniac, en carbone organique total et en sulfures volatils totaux).

Carotte - Échantillon de sédiment prélevé au moyen d'un carottier.

Carottier - Dispositif avec lequel on prélève une colonne de sédiment (carotte), dont l'analyse révèle la répartition chronologique ou verticale des caractéristiques physiques et chimique du sédiment.

Cartographie acoustique - Transformation de signaux acoustiques, par des moyens électroniques, en une image physique représentative.

Chaîne d'arpentage - Chaîne ou ruban gradué, tendu perpendiculairement entre un point situé sur le rivage et une personne ou un bateau placé à la station d'échantillonnage, afin de mesurer la distance entre ces deux points. L'emplacement du point de repère terrestre doit être enregistré ou marqué, si l'on veut retrouver celui de la station d'échantillonnage.

Chaîne de possession - Documentation attestant de la possession (suite des détenteurs) d'un échantillon, habituellement judiciaire, depuis son prélèvement jusqu'à son analyse, afin de prouver qu'il n'a été ni falsifié ni contaminé durant cette période. Synonyme : “continuité de possession”.

Constituants - Substances chimiques, matières solides, matières organiques particulières ou dissoutes et organismes associés aux sédiments ou présents dans ces derniers.

Contaminant - Agent, substance ou matière indésirable présente dans les sédiments ou dans l'eau.

Continuité de possession - Synonyme de “chaîne de possession”.

Contrôle de la qualité - Ensemble des techniques et moyens de mesure et d'évaluation de la qualité des données et, le cas échéant, des correctifs à appliquer lorsque les objectifs de qualité des données ne sont pas atteints.

Drague - 1. Chaland équipé d'engins pour excaver les sédiments. - 2. Dispositif servant à prélever des sédiments dans le but précis d'évaluer le benthos.

Draguer - Enlever les sédiments du fond.

Durée de conservation - Période durant laquelle un échantillon de sédiment peut être gardé après le prélèvement. Durant cette période, les modifications des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques du sédiment devraient être minimales et l'intégrité de l'échantillon ne devrait pas

être compromise de façon appréciable. Le sédiment devrait, de préférence, être analysé ou utilisé dans un essai biologique durant cette période ou immédiatement après.

Eau de porosité - Synonyme d'“eau interstitielle”.

Eau désionisée - Eau douce qu'on a purifiée pour en extraire les ions en solution en la faisant passer dans des colonnes de résine ou dans un système d'osmose inverse.

Eau distillée - Eau ayant été traitée dans un appareil de distillation de verre borosilicaté, ou d'un autre matériau, pour la débarrasser de ses impuretés.

Eau interstitielle - Eau occupant l'intervalle entre les particules de sédiment. On en calcule la quantité, qu'on exprime en pourcentage de la masse de l'eau par rapport à celle du sédiment entier, eau interstitielle comprise. On peut extraire cette eau directement du sédiment, sur place, habituellement au moyen d'un dialyseur; on peut extraire des échantillons prélevés par des méthodes telles que la filtration sous pression, la centrifugation ou l'aspiration. Synonyme : “eau de porosité”.

Eau non contaminée - Eau de mer ou d'estuaire ou eau douce exempte de substances présentes à des concentrations provoquant des désordres observables chez les organismes d'expérience ou réduisant leur survie, leur croissance ou leur reproduction.

Échantillon - Partie représentative d'un ensemble plus grand (p. ex., sédiment, eau de porosité) que l'on étudie pour mieux connaître les caractéristiques de cet ensemble et pour en déduire les propriétés. Se dit aussi d'un sous-ensemble d'une population (p. ex., le benthos).

Échantillon composé - Échantillon obtenu par réunion de matières provenant de plus d'un échantillon ou sous-échantillon.

Échantillon fractionné - Échantillon, préalablement homogénéisé ou non, qu'on a séparé en deux parties, égales ou non, dans le dessein d'obtenir des sous-échantillons représentatifs.

Échantillon judiciaire - Échantillon prélevé en vue de poursuites (c'est-à-dire que les résultats de l'analyse pourraient être recevables devant les tribunaux). L'échantillon judiciaire est considéré comme représentatif de la substance échantillonnée et il doit être exempt de contamination par des substances étrangères durant l'échantillonnage et par la suite. L'origine de l'échantillon, la date et l'heure du prélèvement ainsi que la méthode de prélèvement doivent être consignées, et il faut établir clairement la chaîne de possession. L'échantillon judiciaire est transporté dans un récipient étiqueté et scellé, gardé dans un endroit sûr, sous clé, et traité le plus tôt possible après le prélèvement.

Échantillon répété ou répétition - En parlant d'un sédiment, se dit de chacun des échantillons prélevés à une même station d'échantillonnage pour obtenir une estimation de l'erreur aléatoire d'échantillonnage ou pour améliorer la justesse de l'estimation. Lorsqu'on prélève un seul échantillon (c'est-à-dire une carotte ou un échantillon prélevé par benne) à une station

d'échantillonnage, on dit qu'il n'y a qu'une répétition. Lorsqu'on prélève plus d'un échantillon par les mêmes moyens, chacun d'eux est considéré comme un échantillon répété s'il subit le même traitement que les autres tout en étant conservé dans un récipient distinct (c'est-à-dire s'il ne sert pas à la préparation d'un échantillon composé).

Échantillonnage - Action de prélever des échantillons.

Échantillonneur - Appareil ou dispositif dont on se sert pour prélever des échantillons ou des sous-échantillons.

Échosondeur - Appareil émettant des impulsions acoustiques (p. ex., ultrasoniques) dont le retour, après réflexion sur le fond, permet d'apprécier la profondeur de l'eau, par la mesure de l'intervalle de temps qui sépare l'émission de la réception.

Élutriat - Solution aqueuse obtenue après l'addition d'eau à une substance solide ou à un matériau meuble (p. ex., sédiment, stériles, boues de forage, matières draguées), par brassage du mélange puis par centrifugation, filtration ou décantation du surnageant.

Épibenthique - Se dit d'un organisme régulièrement en contact avec les sédiments ou vivant immédiatement au-dessus de l'interface sédiments-eau, jusqu'à une profondeur d'environ 100 brasses, soit environ 183 m (200 m pour parler en chiffres ronds).

Essai de toxicité - Expérience visant à déterminer l'effet d'une matière ou d'une substance sur une population d'une espèce donnée d'organismes d'expérience (p. ex., *Rhepoxynius abronius*), dans des conditions déterminées. On mesure alors habituellement soit la proportion d'organismes touchés, soit le degré de l'effet manifesté, après exposition à une substance d'essai donnée (p. ex., un échantillon de sédiment, d'eau de porosité ou d'élutriat).

Étude d'évaluation - Collecte systématique d'information afin de reconnaître et de décrire un phénomène donné dans un écosystème ou un milieu.

Étude de surveillance - Mesure ou évaluation répétitive de l'état d'un écosystème ou d'un milieu donné.

Extrait - Solution obtenue par traitement discontinu, lixiviation sur colonne ou extraction à l'appareil de Soxhlet, après adjonction à un sédiment d'un ou plusieurs agents d'extraction (p. ex., acides ou solvants). L'extraction peut être simple ou multiple, être exécutée au moyen d'un seul agent ou d'un mélange d'agents, ou encore être séquentielle, c'est-à-dire employer consécutivement plus d'un agent organique.

Fluviale - Se dit de ce qui est associé aux cours d'eau ou à un milieu lotique.

Fond - Interface des sédiments et de l'eau à la partie inférieure des mers ou des lacs.

Géochimie - Étude des éléments chimiques, de leurs isotopes et des processus auxquels ils participent, relativement à leur abondance et à leur répartition dans la roche, les sédiments consolidés et meubles et l'eau interstitielle.

GPS (Global Positioning System) - Système de navigation relativement nouveau fondé sur des données établies par satellite. Mis au point par l'Armée américaine, il peut donner en continu la position de l'utilisateur. Considéré comme le système de navigation de l'avenir, il est appelé à une grande utilisation.

Immersion - Action d'éliminer des substances en mer, dans un estuaire ou en eau douce.

Lacustre - Se dit de l'environnement ou des sédiments d'un lac ou d'un réservoir.

Levé acoustique - Application de l'énergie acoustique au sondage des milieux solides, au moyen d'émetteurs et de capteurs de sons et de vibrations, de systèmes d'enregistrement et d'analyseurs de données.

Levé hydrographique - Levé des caractéristiques physiques d'une étendue d'eau, y compris les courants, la profondeur, la topographie du fond et, éventuellement, les propriétés chimiques et physiques de l'eau.

Lieu d'immersion - Zone dans laquelle on autorise l'immersion d'une substance en mer (*cf.* partie 3), conformément aux modalités d'un permis valide d'immersion en mer.

Lieu de dragage - Zone devant être draguée.

Lieu de l'étude - Étendue d'eau et sédiments sous-jacents qu'il faut surveiller ou évaluer.

Ligne de visée - Droite réunissant deux points (p. ex., l'objectif d'un instrument de visée ou de mesure et l'objet visé). *Cf.* "portée optique".

*Loran (d'après Long-range **RA**dio Navigation)* - Système de navigation largement utilisé qui permet de déterminer la position d'hyperboles en mesurant l'écart de temps entre la réception d'impulsions provenant de stations émettrices fixes, synchronisées.

Loran C - Loran fonctionnant dans la bande de 100 à 110 kHz.

Macrofaune benthique - Organismes benthiques facilement visibles à l'oeil nu.

Matières draguées - Matériaux excavés ou dragués du fond.

Microfaune benthique - Organismes benthiques difficilement visibles à l'oeil nu.

Objectifs de qualité des données (OQD) - Critères préalablement définis applicables aux données utilisées dans une étude ou aux résultats de cette dernière, de façon à s'assurer qu'ils sont d'une qualité acceptable pour répondre aux besoins du programme.

Portée optique - Dans les applications radar et radiotechniques, trajet en ligne droite qu'un faisceau ou un signal peut parcourir sans obstacle, entre sa source et la cible. Cf. "ligne de visée".

Produit toxique de référence - Substance chimique (de qualité réactif) utilisée pour mesurer la sensibilité des organismes d'expérience à la toxicité, afin d'établir le degré de confiance à accorder aux résultats toxicologiques obtenus avec une substance d'essai. La plupart du temps, on effectue un essai sur un produit de référence afin de mesurer la sensibilité des organismes pendant l'évaluation de la substance d'essai et de déterminer la précision des résultats de cette évaluation.

Profondeur d'échantillonnage - Épaisseur des sédiments dans laquelle on prélève l'échantillon. Elle est généralement inférieure à la profondeur de pénétration de l'échantillonneur dans les sédiments.

Profondeur de pénétration - Épaisseur des sédiments que l'échantillonneur devrait traverser pour le prélèvement. Elle est généralement supérieure à la profondeur d'échantillonnage recherchée.

*Radar (d'après **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging)* - Système de navigation utilisant un rayonnement électromagnétique réfléchi pour déterminer la vitesse et l'emplacement d'une cible.

Récipient à échantillon - Récipient dans lequel on dépose directement le contenu d'un échantillonneur.

Récipient d'entreposage - Récipient où l'on garde les échantillons prélevés sur le terrain. Ce peut être ou non le récipient à échantillon.

Récipient de transport - Récipient servant au transport des échantillons prélevés sur le terrain. Ce peut être ou non le récipient d'entreposage ou le récipient à échantillon.

Récipient témoin - Récipient à échantillon (p. ex., bouteille, tube ou gaine de tube de carottier) choisi de façon aléatoire qui subit les mêmes traitements et manipulations que les récipients renfermant effectivement un échantillon. On le remplit d'eau ou de sédiment non contaminé et on le soumet à des analyses chimiques ou toxicologiques en même temps que les échantillons prélevés sur le terrain auxquels il sert de témoin. L'objet de cet essai à blanc est d'évaluer tout écart (ou tout effet) que l'on peut attribuer au transport des échantillons vers le laboratoire.

Rinçures - Échantillons d'eau ou de solvant qu'on a fait passer dans le ou les échantillonneurs de sédiments ou d'eau de porosité, immédiatement avant les prélèvements, afin d'évaluer la contamination de l'équipement et de montrer l'efficacité des méthodes de lavage.

*SATNAV (d'après **SAT**ellite **NAV**igation)* - Système de navigation relativement peu coûteux qui procure une couverture mondiale, mais discontinue. Il se fonde sur l'intégration des informations de satellite fixes et d'autres sources de données pour déterminer une position.

Sédiment - 1. Dépôt naturel de particules, après leur transport dans l'eau, que l'on trouve normalement au fond de l'eau. - 2. Substrat préparé de façon expérimentale dans lequel l'organisme d'expérience peut fouir, survivre, croître et se reproduire.

Sédiment d'essai - Échantillon de sédiment prélevé à un endroit que l'on estime être contaminé par au moins une substance chimique, qu'on se propose d'étudier en laboratoire. Parfois, le terme peut désigner tout échantillon de sédiment (y compris les sédiments de contrôle ou de référence) dont on se sert au cours d'un essai; cet usage est à proscrire.

Sédiment de contrôle - Sédiment non contaminé prélevé sur le terrain ou artificiel (p. ex., préparé en laboratoire), de composition physicochimique connue et de qualité constante. Il ne doit pas renfermer de concentrations de contaminants qui influent d'une façon ou d'une autre sur l'organisme d'expérience. Ses caractéristiques physiques devraient se situer à l'intérieur des limites de tolérance des organismes d'expérience. Il devrait être exempt d'organismes nuisibles à l'organismes d'expérience. Il sert de point de comparaison pour l'interprétation des résultats des essais de toxicité et de bioaccumulation portant sur le sédiment d'essai, et on peut aussi l'employer pour contrôler l'état de santé des organismes d'expérience, l'évolution temporelle de la sensibilité relative de ces derniers aussi que les performances analytiques des laboratoires.

Sédiment de contrôle traité (artificiellement) - Sédiment de contrôle auquel on a ajouté une quantité précise d'un produit toxique de référence afin d'en obtenir une concentration particulière dans le sédiment. Il sert de contrôle positif pour s'assurer de la constance temporelle de la réaction des organismes d'expérience à cette concentration.

Sédiment de référence - Sédiment prélevé sur le terrain et considéré comme relativement exempt de contaminants (c'est-à-dire, non contaminé). Il est souvent prélevé aux environs du lieu d'où provient le sédiment d'essai (c'est-à-dire, dans la même étendue d'eau), et on l'emploie fréquemment pour les essais de toxicité parce que ses caractéristiques géochimiques (p. ex., répartition granulométrique, teneur en matières organiques totales) sont semblables à celles du sédiment d'essai. Dans un essai de toxicité, on peut utiliser, outre un sédiment de contrôle, un sédiment de référence comme témoin de l'expérience.

Sédiment entier - Sédiment intact qui n'a subi que des manipulations minimales après son prélèvement ou sa formulation. Ce n'est pas une forme ou un dérivé de sédiment comme un éluviat ou un sédiment remis en suspension.

Sédiment fin - Sédiment constitué principalement de particules d'au plus 63 µm (c'est-à-dire de limons et d'argiles).

Sédiment non contaminé - Sédiment exempt de substances présentes à des concentrations provoquant des désordres observables chez les organismes d'expérience ou réduisant leur survie, leur croissance ou leur reproduction.

Sédiment tamisé - Sédiment ayant traversé un tamis, sous l'action de la pression ou d'une eau dont on a réglé le degré de saturation en air, la température et la salinité (si le sédiment d'essai est

marin ou estuarien). On devrait laisser reposer au moins 12 h (c'est-à-dire, pendant la nuit) le mélange de sédiment tamisé et d'eau de dilution, avant de décanter ou d'éliminer cette dernière.

Sédiment traité (artificiellement) - Sédiment auquel, dans un but expérimental, on a ajouté une substance à expérimenter (p. ex., substances chimique, mélange de substances, boue de forage, matières draguées contaminées ou boue), après quoi on a bien brassé le tout.

Sextant - Instrument optique à double réflexion avec lequel on détermine la latitude et la longitude, normalement par la mesure de la distance angulaire d'un astre au-dessus de l'horizon.

*Sonar (d'après **SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging)* - Système de communication ou de positionnement fondé sur l'énergie de réflexion et de propagation sous l'eau d'impulsions acoustiques.

Sondeur mécanique - Poulie de mesure sur laquelle s'enroule une ligne graduée et lestée, qui sert à mesurer la profondeur de l'eau entre la surface et les sédiments. Sa précision est de $\pm 0,2$ m. Il est facile de s'en procurer de différentes tailles chez la plupart des vendeurs d'équipement d'échantillonnage.

Sous-échantillon - Partie représentative d'un échantillon, que l'on étudie afin de mieux connaître les caractéristiques de l'échantillon et d'en déduire les propriétés.

Sous-échantillonnage - Action de prélever des sous-échantillons.

Stochastique - Cf. "aléatoire".

Station d'échantillonnage - Endroit où sont prélevés les échantillons sur le lieu de l'étude.

Substance - Matière particulière ayant des propriétés plus ou moins uniformes.

Taille de l'échantillon - Volume (en litres ou en mètres cubes), masse (en grammes) ou dimensions (diamètre et longueur d'une carotte, p. ex., 2,5 cm sur 1,2 m) d'un échantillon de sédiment.

Tamisage par voie humide - Action de faire passer des particules de sédiment, en même temps qu'un petit volume d'eau, à travers un tamis dont les ouvertures ont une grandeur donnée.

Tamisage sous pression - Action de faire passer, par moyens mécaniques, des particules de sédiment à travers un tamis dont les ouvertures ont une grandeur donnée.

Taximètre - Instrument de mesure du relèvement, en degrés, des objets observés.

Théodolite - Télescope utilisé en arpentage, pour mesurer avec précision des angles horizontaux et verticaux.

Topographie - Disposition (dans les axes vertical et horizontal), relief d'un lieu.

Toxicité - Capacité intrinsèque d'une substance de causer des effets nocifs chez l'organismes qui y sont exposés.

Volume de l'échantillon - Valeur exprimée en mètres cubes ou en litres.

Zone - Étendue définie par des caractéristiques relativement uniformes, qui diffèrent de façon appréciable de celles des zones contiguës.

Zone d'étude - Ensemble formé du lieu de l'étude et de ses environs (c'est-à-dire de tout secteur susceptible d'influer sur le lieu de l'étude), qu'il faut surveiller ou évaluer.

Zone de dépôt - Zone où les sédiments fins (c'est-à-dire les particules de limon et d'argile d'au plus 63 μm) s'accumulent ou se déposent continuellement, de sorte que le dépôt résultant est relativement meuble et se caractérise par une teneur relativement élevée en eau et en matières organiques.

Remerciements

Le présent document a été rédigé par Gladys L. Stephenson [Ecological Services for Planning Ltd., Guelph (Ontario)]. Il s'inspire de documents d'orientation et de méthodes décrivant les marches à suivre et les techniques utilisées dans un contexte semblable au Canada (dans les régions de l'Atlantique, du Pacifique et du Yukon ainsi que de l'Arctique), aux États-Unis et en Australie. Il fait fond également sur les données scientifiques les plus récentes publiées et fournies par des chercheurs du domaine. En leur qualité de responsables scientifiques, L. Porebski et R. Scroggins [Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada (EC)] ont fourni une orientation et des conseils techniques tout au long des travaux. Saluons également la contribution de P. Murdoch (EC, Ottawa), A. Murdoch (EC, Burlington), K.E. Day (EC, Burlington) et J. Osborne (EC, Hull), tous membres du Sous-comité technique spécial.

Nous remercions sincèrement les membres du Groupe intergouvernemental sur la toxicité aquatique (GITA, annexe A), du Comité consultatif régional sur l'immersion de déchets en mer et du Comité des gestionnaires de laboratoire d'Environnement Canada ainsi que les représentants des bureaux régionaux (annexe B) qui ont participé activement à l'examen du premier jet du document et de l'ébauche finale. Saluons notamment, pour leurs conseils utiles et les connaissances techniques qu'ils ont fournies :

D. Gauthier et C. Gobeil, ministère des Pêches et Océans, Mont-Joli (Qc)

D. Loring, ministère des Pêches et Océans, Dartmouth (N.-É.)

C. Duerden et K. Tay, Région de l'Atlantique, EC, Dartmouth (N.-É.)

D. Goyette, D. Brothers et S. Yee, région du Pacifique et du Yukon, EC, West Vancouver (C.-B.)

A. Chevrier, EC, Hull (Qc)

Nous remercions les membres du Sous-comité technique, qui ont participé activement à l'élaboration et à l'examen du document, pour leurs observations et leurs conseils. Pour leurs recommandations, leurs nombreuses contributions techniques et l'information qu'ils ont fournie, nous savons particulièrement gré à :

G. Ankley, USEPA, Duluth, MN

G. Atkinson, Division de la statistique appliquée, EC, Hull (Qc)

S. Bay, Southern California Coastal, Long Beach, CA

- G.A. Burton, Wright State University, Dayton, OH
- R. Burgess, USEPA, Narragansett, RI
- G. Brun, Laboratoire de la qualité des eaux, EC, Moncton (N.-B.)
- A. Chevrier, Service de la protection de l'environnement, EC, Ottawa (Ont.)
- J. Ciborowski, Université de Windsor (Ont.)
- K. Doe, Service de la conservation de l'environnement, région de l'Atlantique, EC, Dartmouth (N.-É.)
- B. Eadie, National Oceanic and Atmospheric Administration, Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, MI
- J. Gearing, ministère des Pêches et Océans, Mont-Joli (Qc)
- J. Giesy, Michigan State University, East Lansing, MI
- R. Hesselin, ministère des Pêches et des Océans, Winnipeg (Man.)
- C. Hickey, NIWA Ecosystems, Hamilton (Nouvelle-Zélande)
- K. Ho, USEPA, Narragansett, RI
- R. Hoke, SAIC, Hakensack, NJ
- P. Landrum, National Oceanic and Atmospheric Administration, Great Lakes Environmental Laboratory, Ann Arbor, MI
- C. Ingersoll et M. Nelson, US National Biological Survey, Columbia, MO
- K. Keenleyside, Direction de l'évaluation et de l'interprétation, EC, Hull, (Qc)
- G. Krantzberg, Direction des ressources en eau, ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, Toronto (Ont.)
- J. Lazorchak, USEPA, Cincinnati, OH
- K. Liber, University of Wisconsin, Superior, WI
- S. Lorenzato, State Water Resources Control Board, Sacramento, CA

- B. McGee, University of Maryland, Queenstown, MD
- D. McLeay, McLeay Environmental Ltd., West Vancouver (C.-B.)
- D. Pascoe, University of Wales, Cardiff (Pays de Galles)
- W. Peltier, USEPA, Athens, GA
- J. Percival, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont.)
- F. Philbert, Direction générale des eaux intérieures, Centre canadien des eaux intérieures, EC, Burlington (Ont.)
- E. Power, EVS Consultants, North Vancouver (C.-B.)
- M. Redmond, J. Jones, D. Schultz et M. Vance AS&I Corporation, Newport, OR
- L. Rosman, US Army Corps of Engineers, New York, NY
- J. Rodgers, University of Mississippi, University, MS
- D. Rossel, École polytechnique de Lausanne, Orbe (Suisse)
- J. Skei, Institut norvégien de recherche sur les eaux, Oslo (Norvège)
- P. Sly, Rawson academy of Aquatic Science, Ottawa (Ont.)
- B. Suedel, EA Engineering, Science and Technology, Hunt Valley, MD
- D. Sutherland, ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, Prince George (C.-B.)
- K. Taberski, California Regional Water Control Board, Oakland, CA
- A. Tessier, INRS-Eau/Université du Québec, Sainte-Foy (Qc)
- R. Vezeau, EC, Montréal (Qc)
- P. Winger, US National Biological Survey, Athens, GA
- G. Winters et I. Hardy, Ressources naturelles Canada/Commission géologique du Canada, Dartmouth (N.-É.)

Le financement et l'orientation technique qui ont permis d'élaborer le présent document ont été fournis par la Division du milieu marin du Bureau de la gestion des déchets d'Environnement Canada à Hull (Qc) par le truchement de L. Porebski et de J. Osborne, ainsi que par la Direction générale du développement technologique d'Environnement Canada à Gloucester (Ont.), par le truchement de Rick Scroggins.

Introduction

1.1 *Contexte*

Les sédiments font partie intégrante des écosystèmes aquatiques. Ils proviennent du dépôt, à différentes vitesses, des particules terrigènes introduite dans l'écosystème aquatique et des précipités formés à la faveur des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique. Les particules en suspension qui entrent dans le milieu aquatique peuvent déjà renfermer des contaminants. Inversement, les particules non contaminées en suspension dans l'eau peuvent se charger de contaminants solubles présents dans l'eau. En outre, les précipitations peuvent entraîner les contaminants présent dans l'atmosphère. En conséquence, les sédiments sont souvent considérés soit comme un réservoir (source), soit comme puits (point d'aboutissement et d'immobilisation) de contaminants dans les milieux aquatiques.

Les contaminants d'origine agricole, urbaine et industrielle s'accumulent au fil des ans dans les sédiments des cours d'eau, des lacs, des estuaires et des océans. Dans certaines régions, ils ont atteint des concentrations nuisibles au benthos et à l'épibenthos. Au Canada, on n'a généralement aucune idée de l'étendue du problème posé par les sédiments contaminés; toutefois, les préoccupations des scientifiques et du législateur ont engendré un certain nombre de programmes visant à protéger l'intégrité et la santé des écosystèmes aquatiques. Ces programmes se divisent en trois catégories générales : surveillance et évaluation; immersion de déblais de sols et de sédiments en eau libre; dépollution. Sont

indissociables de toutes ces études les méthodes et les modes opératoires de prélèvement des échantillons d'eau de porosité et de sédiments en vue d'une caractérisation physicochimique, de mesures de la bioaccumulation ou d'une évaluation toxicologique. Comme la sélection des stations d'échantillonnage ainsi que les méthodes de prélèvement, d'entreposage, de transport et de préparation des échantillons sont susceptibles d'influer à la fois sur la caractérisation des propriétés physiques et chimiques et sur les résultats des essais de toxicité ou de bioaccumulation, nous avons estimé qu'il était prudent de fournir un document d'orientation à ce sujet afin de compléter la bibliothèque actuelle des méthodes et des normes d'analyse et d'essai biologiques (EC, 1990a, b et c; EC, 1992 a, b, c, d, e, f et g). Ce document facilitera le recours à des modes opératoires cohérents, appropriés et complets pour l'obtention de données sur la bioaccumulation des contaminants dans les sédiments et sur leurs effets toxiques.

1.2 *Importance et utilisation du document*

La sélection des stations d'échantillonnage ainsi que les méthodes de prélèvement, de transport, de manutention, d'entreposage et de manipulation des échantillons de sédiments peuvent influencer sur les résultats des caractérisations physicochimiques, des essais de toxicité et des mesures de la bioaccumulation auxquelles ces échantillons sont soumis ou influencer sur l'interprétation des ces résultats. Ce constat a fait prendre conscience de la nécessité d'un document

d'orientation. En effet, faute d'une marche à suivre normalisée, on a vu proliférer un nombre exagéré de méthodes et de modes opératoires, ce qui rend très difficiles l'interprétation et la comparaison des résultats des différentes études.

La première marche à suivre normalisée pour le prélèvement, l'entreposage, la caractérisation et la manipulation des sédiments a été établie par l'ASTM (1992), dans un document qui a servi de fondement au présent guide. Nous avons tenté d'harmoniser la marche à suivre énoncée ci-après avec celle figurant dans la version révisée du document de l'ASTM (1995).

Même si les méthodes d'évaluation toxicologique des sédiments en sont encore à leurs premiers balbutiements, les progrès se font à un rythme phénoménal. Au cours des deux dernières années, on a assisté à l'émergence d'un certain nombre de méthodes et de protocoles sur la mesure de la toxicité des sédiments (EC, 1992a, b, c, d, e, f, g et documents à paraître; USEPA, 1994a et b; ASTM, 1995), ainsi que d'un guide sur le prélèvement, l'entreposage et la manipulation des sédiments (ASTM, 1995). Ces documents, fidèles à l'état actuel des techniques, sont perfectibles. À mesure que l'information deviendra plus accessible, les recommandations du présent document

seront réévaluées et, au besoin, révisées. La toxicité des sédiments contaminés est un phénomène complexe, sur lequel influent des facteurs physiques, géochimiques et biologiques. Malgré le travail acharné de beaucoup de scientifiques, il subsiste des lacunes dans les données et des questions sans réponse.

Le présent document est divisé conformément à deux approches de l'évaluation des sédiments contaminés : les études de surveillance et d'évaluation et les études en vue de l'immersion des matières draguées en eau libre.

Les options, les méthodes et les modes opératoires recommandés pour ces deux approches sont présentés respectivement dans les sections 2 et 3. Le degré de détail diffère d'une section à l'autre. Il en est de même, parfois, des modes opératoires, pour tenir compte d'objectifs et de buts différents. Les lecteurs doivent déterminer l'approche qui répond le mieux au projet qu'ils veulent entreprendre et consulter la section pertinente du guide. Les modes opératoires recommandés, identifiés par des points centrés, sont énumérés au début de chaque paragraphe. Ils sont récapitulés à la fin de chaque partie pour en faciliter la consultation rapide. La figure 1 donne un aperçu du domaine d'application du présent document.

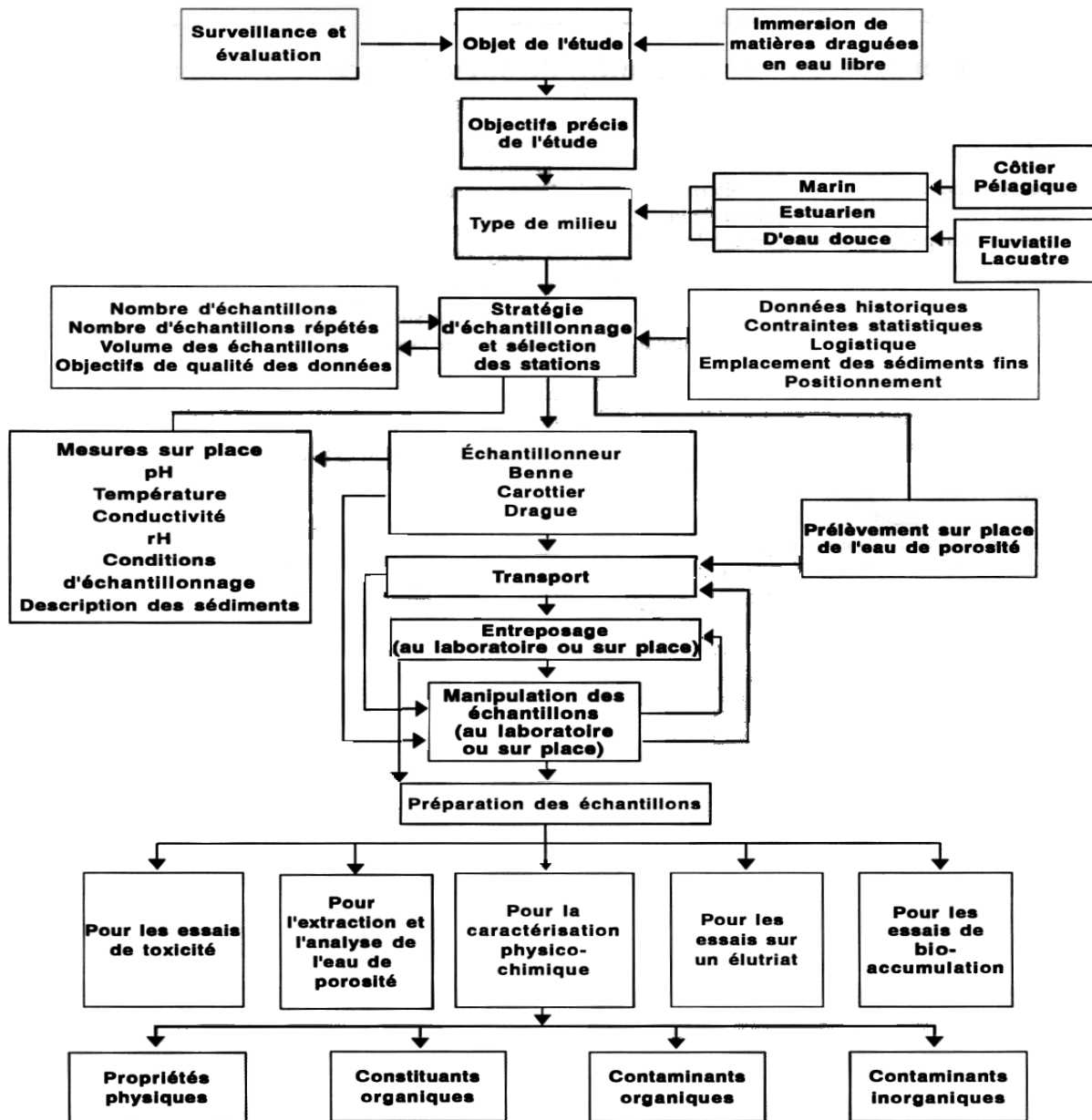


Figure 1 Organigramme de la matière du présent document

Marche à suivre pour les études de surveillance et d'évaluation

2.1 *Survol*

Au début des années 1960, on a déterminé qu'il y avait vraiment lieu de s'inquiéter de la contamination des sédiments de nombreux milieux aquatiques du Canada. Au cours des années 1970, il est devenu évident que certains contaminants des sédiments étaient facilement bioassimilables et qu'ils pouvaient s'introduire de nouveau dans les réseaux trophiques du milieu aquatique. Il est également devenu évident que la contamination des sédiments imputable aux sources ponctuelles et diffuses telles que les émissaires d'évacuation d'eaux pluviales et d'effluents industriels, les déversements accidentels ou délibérés, l'élimination des matières draguées et des boues d'épuration, les eaux de ruissellement des terres agricoles, l'eau de drainage urbain, les dépôts atmosphériques et la remise en suspension des sédiments était un phénomène relativement répandu. On a donc élaboré des programmes pour surveiller et évaluer la nature, l'ampleur et l'étendue de la contamination des sédiments des milieux d'eau douce, estuariens et marins.

Les paragraphes qui suivent indiquent la marche à suivre pour les études de surveillance et d'évaluation en ce qui concerne : la sélection des stations d'échantillonnage; le prélèvement des sédiments et de l'eau de porosité; la manutention, le transport et l'entreposage des échantillons d'eau et de sédiments entiers; et la préparation des prises d'essai pour la caractérisation physique et géochimique et pour l'évaluation de la toxicité des sédiments. Ces

recommandations reflètent l'état actuel des connaissances scientifiques.

2.2 *Objet de l'étude*

Recommandation

- Exposer clairement l'objet (buts, finalité) et l'hypothèse de départ de l'étude, et les intégrer au plan de l'étude.

Les études de surveillance et d'évaluation couvrent une large gamme d'activités et, par définition, prennent des formes très variables. La plupart de ces études portent sur l'un ou l'autre des aspects suivants :

- a) contamination dans le passé;
- b) incidences de la pollution due à des sources ponctuelles;
- c) enquêtes géochimiques pour l'exploration pétrolière, gazière ou minière;
- d) répercussions de la construction ou de l'aménagement d'ouvrages (p. ex., ponts, barrages, quais, docks, etc.);
- e) qualité de l'habitat (comme milieu de vie pour les communautés biologiques).

Ces études permettent aussi de déterminer dans quelle mesure les sédiments libèrent des contaminants ou en immobilisent et d'établir s'il y a lieu, la répartition temporelle ou spatiale de certains contaminants dans les sédiments. Elles peuvent obéir à des motifs de réglementation (p. ex., dragage, immersion ou dépollution)

ou de recherche (p. ex., en géochimie, sur les processus biologiques et physicochimiques ou sur la validation de modèles de transport et de dépôt). Au bout du compte, les données doivent servir à évaluer le risque pour la santé humaine ou l'environnement dû à l'accumulation ou à la redistribution des contaminants de sédiments.

L'élément le plus important de ces études est leur plan, dans lequel on énonce les buts et les objectifs, les méthodes et les stratégies de saisie des données et de prélèvement des échantillons ainsi que la marche à suivre afin de satisfaire à tous les objectifs de qualité des données.

2.3 *Plan de l'étude*

Recommandations

- Délimiter la zone d'étude et le lieu de l'étude sur une carte hydrographique ou topographique récente. Il faudrait inspecter la zone et le lieu projetés.
- Déterminer les sources possibles de contamination et les localiser sur la carte.
- Consulter les sources locales de renseignement sur l'état des lieux.
- Recueillir, consulter et évaluer toutes les données historiques utiles à l'étude.
- Déterminer l'emplacement des sédiments fins, habituellement concentrés dans les zones de faible énergie en milieu aquatique.
- Sélectionner une méthode de détermination de l'emplacement des stations d'échantillonnage.
- Décider de la méthode de positionnement qui convient le mieux au lieu et à l'étude.
- Déterminer la taille (p. ex., masse ou volume) des échantillons qui permettra de répondre aux exigences des méthodes d'analyse et du programme d'assurance et de contrôle de la qualité de toutes les analyses prévues.
- Décider du seuil de confiance et de la valeur acceptable de l'effet recherché dans les résultats à tirer des échantillons.
- Déterminer la fréquence d'échantillonnage (ou le moment des prélèvements) qui permettra de répondre aux buts et aux objectifs de l'étude. Si celle-ci comporte un élément de saisonnalité, il faudrait en tenir compte dans le plan de l'étude. Il est vital de prendre en considération la vitesse de sédimentation lorsqu'on détermine la fréquence d'échantillonnage.
- Déterminer le nombre d'échantillons requis pour atteindre les objectifs de l'échantillonnage et du programme d'assurance et de contrôle de la qualité.
- S'il faut prélever des échantillons répétés à chaque station d'échantillonnage, on recommande qu'au moins trois par station, de préférence cinq. Toutefois, leur nombre peut être déterminé au préalable à la suite de prélèvements et d'analyses préliminaires d'échantillons.
- Le plan de l'étude, y compris le plan d'échantillonnage (déterminant la fréquence, le nombre et l'emplacement des prélèvements sur le terrain), devrait être soumis à un statisticien ou à un autre professionnel qualifié, avant le début de l'étude de surveillance.

- Le plan de l'étude devrait traiter de l'élimination des déchets produits pendant l'étude.

2.3.1 Délimitation de la zone d'étude et du lieu de l'étude

La zone d'étude est l'étendue d'eau entourant le lieu de l'étude, c'est-à-dire la zone à surveiller ou à évaluer ainsi que les zones adjacentes (p. ex., à terre ou dans l'eau) qui pourraient influencer sur les conditions régnant sur le lieu de l'étude. Ce dernier est constitué de l'étendue d'eau et des sédiments sous-jacents qu'il faut surveiller ou évaluer. Ces deux territoires devraient être clairement délimités sur une carte de la zone d'étude, sur laquelle devraient aussi figurer avec précision toutes les sources connues et potentielles de contamination.

2.3.2 Données historiques, détermination des sources potentielles, état actuel

Après avoir clairement exposé la problématique de l'étude, son objet ou ses hypothèses de départ et avoir délimité la zone d'étude et le lieu de l'étude, on choisit l'emplacement des stations d'échantillonnage en commençant par obtenir, consulter et évaluer tous les renseignements historiques disponibles qui sont utiles à l'étude. Les concentrations de contaminants dans les sédiments pourraient indiquer des apports continus ou épisodiques (p. ex., en cas déversement accidentel); c'est pourquoi les archives des journaux, des organismes gouvernementaux et des municipalités, les levés hydrographiques, les registres des commissions portuaires, les levés géochimiques et les cartes bathymétriques sont utiles à l'élaboration du programme d'échantillonnage. On devrait consulter les sources locales sur l'état des lieux. Il faut relever les sources possibles de contamination et les localiser sur la carte de la zone d'étude projetée. On devrait utiliser,

si c'est possible, des rapports ou des documents qui renseignent sur la nature des contaminants ou sur le degré de contamination de la zone d'étude pour la sélection de l'emplacement de stations d'échantillonnage. Les paramètres historiques et pratiques de la sélection des stations d'échantillonnage sont étudiés en détail dans Murdoch et MacKnight (1991) et résumés dans le tableau 1.

On recommande fortement de procéder à une inspection matérielle des lieux pour tous les plans d'étude, afin d'évaluer la validité et l'état complet des données historiques recueillies et de constater toute transformation importante qu'auraient pu subir le lieu de l'étude ou la zone d'étude (Murdoch et MacKnight, 1991).

2.3.3 Détermination des zones de dépôt

Recommandation

- Pour localiser les sédiments fins, aucune méthode unique ne s'applique à tous les lieux. On recommande donc de faire appel aux données historiques, bathymétriques et hydrographiques disponibles puis de déterminer la technique qui convient le mieux au site afin de localiser les zones probables de dépôt. L'emplacement de ces zones devrait également être confirmé soit par l'inspection des lieux (p. ex., par un plongeur ou par des moyens de surveillance électronique), soit par la collecte d'échantillons préliminaires de sédiments des surface.

Pour les études de surveillance et d'évaluation, il est souvent prioritaire de trouver l'emplacement des sédiments fins. Ces derniers sont généralement situés dans les zones de dépôt; comparativement aux autres fractions granulométriques des

Tableau 1 Paramètres historiques et pratiques de la sélection des stations d'échantillonnage en vue d'un étude de surveillance ou d'évaluation

Hydrologie

- qualité et volume du ruissellement
- apports possibles de matières totales en suspension sous l'effet de l'érosion
- remontées d'eau
- formes d'infiltration

Cartes bathymétriques et hydrographiques

- profondeur de l'eau
- zones d'érosion, de transport et de dépôt
- topographie du fond
- répartition et épaisseur des sédiments, types de sédiments
- vitesse et sens des courants
- vitesses de sédimentation

Facteurs anthropiques

- emplacement des centres urbains
- évolution antérieure de l'occupation des sols
- types d'industries, densité et taille de ces dernières
- emplacement des décharges
- emplacement des usines d'épuration des eaux d'égout
- emplacement des émissaires d'évacuation, volume et qualité des effluents
- drainage urbain (p. ex., ruissellement des eaux pluviales)
- résultats antérieurs d'études de surveillance et d'évaluation ou de levés géochimiques
- emplacement des zones de dragage ainsi que des zones d'immersion en eau libre
- emplacement des déversement de substances ou de matières survenus par le passé

Facteurs géochimiques

- type de substrat rocheux et propriétés chimiques du sol ou des sédiments
- propriétés physicochimiques de l'eau

Climatologie

- vents dominants
 - variations saisonnières de la température, des précipitations, du rayonnement solaire, etc.
 - marées, seiches
 - variations saisonnières des apports naturels et anthropiques
-

sédiments (p. ex., sable et gravier), ils sont plus riches en carbone organique et ils présentent habituellement des concentrations plus fortes de contaminants (CMI, 1988; Persaud *et al.*, 1988; Baudo *et al.*, 1990; Suedel et Rodgers, 1991; Power et Chapman, 1992; Holland *et al.*, 1993). Les renseignements que l'on se procure sur la topographie du fond, la profondeur de l'eau, la répartition granulométrique des sédiments et les zones d'érosion, de transport et d'accumulation ou de dépôt sur le lieu de l'étude permettent de repérer les dépôts de sédiments fins. Les échantillons prélevés dans les zones de dépôt donnent généralement un aperçu de la pire éventualité en matière de contamination ou de toxicité des sédiments.

Pour déterminer l'emplacement des sédiments fins, il existe diverses techniques non perturbatrices (van Woerden *et al.*, 1988; Schock *et al.*, 1989; Guigné *et al.*, 1991) qui ne conviennent pas universellement à tous les milieux. Par exemple, les techniques de sondage acoustique (échouage, sismique-réflexion, etc.) peuvent servir à caractériser le type des sédiments de la surface et de la subsurface (p. ex., sable, gravier limon ou argile) (Murdoch et MacKnight, 1991); toutefois, on ne peut les employer efficacement dans les eaux peu profondes.

Un sonar latéral couplé à un profileur de la subsurface procure un enregistrement graphique ou numérisé, permanent et continu de la topographie du fond et des horizons sous-jacents. On a ainsi cartographié les sédiments contaminés dans des zones de dépôt dues à des rejets industriels à terre, et on peut différencier la roche, le sable et les substrats fins. Si les sonars latéraux à grande résolution ont parfois donné de bons résultats (Wright *et*

al., 1987; Murdoch, 1992), ils ne sont pas parvenus à atteindre le degré de résolution recherché dans d'autres études (Geisey, 1992).

Les limites de la technique jusqu'à ce jour, outre le coût élevé de l'équipement, résident dans le fait que les bulles de gaz présentes dans l'eau ou s'élevant des sédiments gênent le profilage des couches de la subsurface; cette opération est également sensible à la fois à l'inclinaison des couches de sédiments et aux variations internes de leur densité. La réussite des levés acoustiques dépend également, dans une grande mesure, des compétences techniques dont on dispose pour l'interprétation des données.

Les reconnaissances aériennes, avec ou sans saisie d'images satellitaires, peuvent également aider à reconnaître visuellement les zones de dépôt dans les eaux limpides. Toutefois, elles ne sont pas dignes de confiance dans les eaux troubles. Le prélèvement d'échantillons par benne, l'inspection par des plongeurs ou la photographie à l'aide d'un caméra de télévision sous-marine ou d'un véhicule sous-marin télécommandé sont d'autres moyens permettant de localiser les sédiments fins (Nishimura, 1984; Lawless et Padan, 1986; Schneider *et al.*, 1987; Burton, 1992).

2.3.4 Choix des stations d'échantillonnage

Dans toute étude de surveillance ou d'évaluation, ce choix dépend de la problématique et des objectifs poursuivis. La problématique doit être clairement définie, comme dans tout plan d'études et les objectifs ou les hypothèses doivent être clairement énoncés. Tous les participants au programme devraient comprendre l'importance d'atteindre les objectifs.

Recommandations

- Les données historiques, lorsqu'il en existe, devraient faire partie intégrante du processus de sélection des stations d'échantillonnage.
- Il faut faire l'inspection matérielle de la zone d'étude et du lieu de l'étude.
- Si l'objet de l'étude est d'établir la répartition quantitative, spatiale ou temporelle des sédiments toxiques ou contaminés, le plan d'échantillonnage qui convient le mieux consiste à employer un quadrillage systématique ou régulier du lieu de l'étude (Green, 1979; Atkinson, 1985).
- Si l'objet de la surveillance est de déterminer l'étendue de la contamination des sédiments due à une source ponctuelle, le plan d'échantillonnage devrait reposer sur l'hypothèse que les concentrations diminuent en fonction de l'éloignement de la source; il faut donc prendre en considération les facteurs de dispersion (p. ex., les courants). Dans un cours d'eau où la source ponctuelle est un émissaire d'évacuation, les stations d'échantillonnage devraient donc être situées dans des zones d'accumulation à des distances fixes en aval, déterminées selon une progression géométrique (c'est-à-dire, \times , $2\times$, $4\times$, $8\times$, etc.) (Murdoch et MacKnight, 1991). En même temps, on prélève habituellement des échantillons à des points en amont, qui servent de stations de contrôle ou de référence.
- Si la source ponctuelle est située dans une étendue d'eau où la dispersion n'est pas unidirectionnelle, les stations d'échantillonnage devraient être situées selon une répartition concentrique, à

l'intersection de distances géométriques fixes et d'un angle ou d'un relèvement prédéterminé.

- On devrait recourir à un échantillonnage aléatoire stratifié si l'on dispose de cartes sédimentologiques historiques et s'il existe des zones bien délimitées différant par le type de sédiments (Thomas *et al.*, 1976; Cahill, 1981; Håkanson et Jansson, 1983; Burton, 1992).
- Pour préciser l'emplacement des stations d'échantillonnage, on devrait utiliser une méthode de positionnement dont le degré de résolution est adéquat.
- Chaque station d'échantillonnage dans le lieu de l'étude devrait recevoir au préalable un nom ou un numéro qui l'identifie.

Le choix des stations d'échantillonnage est probablement l'une des étapes les plus critiques des études de surveillance et d'évaluation. Malheureusement, on y consacre habituellement trop peu de temps et, trop souvent aussi, on sacrifie la puissance de l'analyse statistique à un effort moins grand d'échantillonnage, dans l'espoir de réduire les coûts. Un plan d'échantillonnage bien préparé facilite l'analyse des données et l'interprétation des résultats de laboratoire en les rendant plus significatifs. On divulgue rarement les motifs du choix des stations d'échantillonnage, mais l'exposé de ces motifs devrait faire partie intégrante du procès verbal des résultats.

Pour sélectionner les stations d'échantillonnage dans le lieu de l'étude, on peut utiliser un certain nombre de méthodes, présentées de façon sommaire dans la figure 2. La plupart des méthodes statistiques se

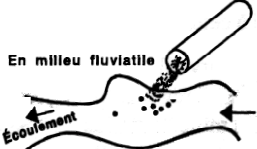


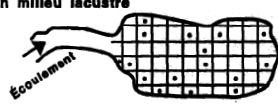
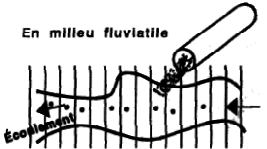
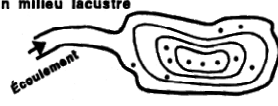
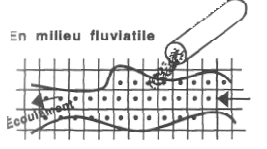
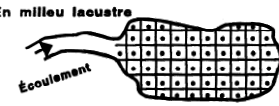
Méthode	Critères de sélection	Référence
NON STATISTIQUE		
1. Échantillonnage à l'aveuglette	Les stations choisies sont les endroits les plus faciles d'accès ou ceux où les prélèvements sont les plus faciles à faire.	Mudroch et MacKnight, 1991
2. Échantillonnage dirigé ou au jugé	Les stations d'échantillonnage sont les endroits les plus susceptibles de contenir des sédiments contaminés (c.-à-d. les zones de dépôt de sédiments fins).	Wright <i>et al.</i> , 1987 Nishimura, 1984 Schneider <i>et al.</i> , 1987 Baudo <i>et al.</i> , 1990
<p>En milieu fluvial</p> 		<p>En milieu lacustre</p> 
STATISTIQUE		
1. Échantillonnage aléatoire	L'emplacement de l'étude est divisé en carrés ou triangles numérotés. Les cases où se trouveront les stations d'échantillonnage sont choisies au moyen de tables de nombres aléatoires ou de programmes de randomisation. Le nombre de stations est déterminé par celui des échantillons dont on a besoin. La station se trouve habituellement au centre de la case ou à une intersection.	Burton, 1992 Keith, 1992
<p>En milieu fluvial</p> 		<p>En milieu lacustre</p> 
Échantillonnage aléatoire stratifié	L'emplacement de l'étude est divisé en un certain nombre de zones selon la nature des substrats ou la bathymétrie locale, puis les zones sont subdivisées en quadrats qui sont ensuite choisis au hasard pour l'échantillonnage.	Keith, 1992
<p>En milieu fluvial</p> 		<p>En milieu lacustre</p> 
2. Échantillonnage systématique	L'emplacement de l'étude est divisé en un certain nombre de quadrats dont chacun est échantillonné à un intervalle régulier de sorte que la distance entre les stations est constante.	Keith, 1992
<p>En milieu fluvial</p> 		<p>En milieu lacustre</p> 

Figure 2 Stratégies d'échantillonnage pour la surveillance et l'évaluation de sédiments contaminés

fondent sur un quadrillage systématique et peuvent être adaptées pour définir des zones de superficie égale à l'intérieur de l'habitat aquatique. La méthode retenue dépend, dans une large mesure, de l'objet de l'étude, de la taille du lieu de l'étude, du degré recherché de résolution statistique et des ressources disponibles. On ne peut pas recommander de méthode unique pour toutes les études de surveillance et d'évaluation. Chaque station d'échantillonnage dans le lieu de l'étude devrait recevoir au préalable un nom ou un numéro qui l'identifie. On facilitera ainsi la prise de notes sur le terrain, l'étiquetage et le suivi des échantillons.

2.3.5 Méthodes de positionnement des stations d'échantillonnage

Recommandations

- Dans un souci d'exactitude, il faut étalonner régulièrement le système de positionnement à l'aide d'au moins deux méthodes.
- Le positionnement devrait être confié à un personnel formé à cette fin et expérimenté.
- Pour les études de surveillance et d'évaluation de vastes régions (p. ex., les Grands Lacs et les milieux marins hauturiers) où l'on se contente d'une exactitude de ± 100 m, on recommande le loran ou le GPS. Pour plus d'exactitude, on recommande le GPS différentiel.
- Pour les milieux marins côtiers et les grands cours d'eau douce où l'on peut profiter de cibles visibles ou adéquates et permanentes, on recommande le radar pour une exactitude recherchée de 10 à 100 m et le système *Trisponder* pour une exactitude recherchée de 1 à 10 m.
- Pour les petites régions où les stations d'échantillonnage sont nombreuses et relativement rapprochées les unes des autres, on recherche un positionnement de haute précision, et le *Miniranger*, le *Trisponder* ou le GPS différentiel sont recommandés.
- Dans les petits cours d'eau, les lacs ou les étangs ainsi que dans les secteurs contigus aux quartiers urbains, les mesures angulaires par visée (p. ex., au moyen d'un sextant) effectuées par quelqu'un d'expérimenté devraient procurer un positionnement exact et précis. On peut aussi utiliser une chaîne d'arpentage.

La principale utilité des techniques de positionnement est de préciser l'emplacement de la station d'échantillonnage (p. ex. latitude et longitude), de sorte qu'on puisse retrouver le même point. On peut utiliser divers systèmes de navigation ou de positionnement. Les critères de sélection dépendent principalement de l'objet de l'étude, des conditions ambiantes, de la topographie et des dimensions de la zone d'étude, de la disponibilité du matériel, de la distance entre les stations et de leur réutilisation éventuelle, de l'accessibilité de l'emplacement, du degré recherché d'exactitude et de précision ainsi que des contraintes financières et techniques (USEPA, 1987). Normalement, les études de surveillance de vastes régions n'exigent pas l'exactitude et la précision recherchées pour les études locales où l'on effectue des prélèvements de façon répétitive.

Chacune des méthodes disponibles possède son exactitude absolue et relative, tandis que la disponibilité peut être simplement fonction de l'emplacement géographique. Par exemple, le loran C n'est pas accessible partout au Canada.

Les caractéristiques, les avantages et les inconvénients des diverses méthodes de positionnement (par visée direct, optiques ou électroniques) sont analysés par Murdoch et MacKnight (1991) et présentés de façon sommaire au tableau 2, avec des renseignements complémentaires provenant d'autres sources (EC, 1985; Tetra Tech, 1986; USEPA, 1987). La technique qui convient à chaque étude devrait être planifiée. Quand on sélectionne un nouveau système, il est recommandé d'obtenir l'aide des organismes gouvernementaux compétents, d'une société locale d'arpentage ou d'un port de plaisance local. Souvent, les différents systèmes sont utilisés localement par un organisme d'État ou une organisation industrielle (qui peut, par exemple, avoir installé des balises acoustiques à des fins de positionnement), et le recours à ces systèmes peut réduire le coût total des travaux de positionnement. Quel que soit le type de système retenu, il est recommandé de l'étalonner à l'aide d'au moins deux méthodes afin d'en assurer l'exactitude. L'équipement de positionnement doit être convenablement monté et étalonné, et son fonctionnement doit être confié à des personnes formées et expérimentées, qui connaissent bien les modes opératoires normalisés de la méthode principale et de la méthode d'appoint. À chaque station d'échantillonnage, on peut se servir d'un échosondeur ou d'un sondeur mécanique pour déterminer la profondeur d'échantillonnage. On s'assurera ainsi que l'eau possède la profondeur recherchée et que le fond est suffisamment horizontal pour que les échantillonneurs fonctionnent bien.

2.3.6 Taille de l'échantillon, nombre d'échantillons, échantillons répétés

Le volume ou le poids de sédiments par échantillon (c.-à-d., la taille de l'échantillon), le nombre de stations à

l'échantillonner sur le lieu de l'étude et le nombre d'échantillons répétés par station sont propres à chaque étude. Dans la plupart des cas, il faudra faire un compromis entre les contraintes logistiques et pratiques (p. ex., temps et coûts) et les exigences statistiques. Le nombre total des échantillons prélevés pendant une étude est normalement le produit du nombre de stations à échantillonner par le nombre d'échantillons répétés qu'on prélèvera à chaque station.

Taille de l'échantillon

Recommandation

- Le volume ou le poids minimal recommandé de sédiment pour chaque paramètre à mesurer est présenté de façon sommaire au tableau 3. La taille de l'échantillon devrait être déterminée en conséquence, au cas par cas.

Avant d'entreprendre un programme d'échantillonnage, il faudrait déterminer le type et le nombre d'analyses et d'essais, puis calculer le volume ou le poids requis de sédiment par échantillon. Chaque essai physicochimique et biologique exige une quantité précise de sédiment : pour les analyses chimiques, cette quantité dépend des limites de détection de la méthode et, pour les essais biologiques, elle dépend de l'organisme d'expérience et de la méthode d'essai. Par exemple, la quantité de sédiment requise pour mesurer la bioaccumulation dépend de la quantité de tissus requise pour les analyses, laquelle, à son tour, détermine le nombre d'animaux requis pour chaque traitement expérimental. La concentration d'organismes variant en général selon l'espèce, le nombre d'organismes détermine la quantité

Tableau 2 Méthodes de positionnement des stations d'échantillonnage

Catégorie	Exactitude	Portée	Avantages ¹	Inconvénients
Méthodes optiques ou de visée directe				
Théodolite	10–30 s ± 1 m et plus	200 m – 5 km	<ul style="list-style-type: none"> • méthode traditionnelle qui mesure les angles horizontaux entre deux cibles connues • peu coûteuse • grande exactitude; utilisée avec succès 	<ul style="list-style-type: none"> • exige une triangulation entre deux cibles ou deux stations à terre (avec des aides) • il faut des mesures simultanées; restrictions sur les angles aux points d'intersection; l'étendue du territoire mesuré est limitée parce que l'instrument exige une bonne visibilité; la plate-forme d'échantillonnage ne doit pas bouger
Mesure électro-magnétique des distances	1.5– 3,0 cm	3 km sans lentille multiprisme	<ul style="list-style-type: none"> • extrêmement exacte; applicable à d'autres projets de levés • relativement peu coûteuse; instruments compacts, portatifs, robustes 	<ul style="list-style-type: none"> • mouvement et "directionnalité" des réflecteurs • bonne visibilité direct nécessaire à moins de posséder une unité à hyperfréquences; deux stations requises à terre; erreurs dues à la réflexion de l'onde directe
Stations totalisatrices	5–7 cm	< 5 km	<ul style="list-style-type: none"> • une seule station à terre; autres empois; minimum de logistique 	<ul style="list-style-type: none"> • mouvement et "directionnalité" des réflecteurs, coût des prismes; méthode de visée directe; limites de l'intervalle optique ou infrarouge
Sextant ²	± 10 s ± 3–5 m, mais variable	200 m – 5 km	<ul style="list-style-type: none"> • instrument manuel, qui peut être exact entre des mains expertes; rapide; facile à utiliser; courant; peu coûteux; aucune équipe à terre est nécessaire; grande exactitude si utilisé près de la côte 	<ul style="list-style-type: none"> • la triangulation exige deux cibles bien visibles; leur orientation influe sur la précision; requiert la mesure simultanée de deux angles; une bonne visibilité des cibles est nécessaire; il faut connaître l'emplacement des cibles et les entretenir pour retrouver le point cherché; méthode de visée directe; donne des meilleurs résultats par temps calme; restrictions sur les angles acceptables
Taximètre	variable	< 5 km	<ul style="list-style-type: none"> • rapide; facile à utiliser; courant; peu coûteux aucune équipe à terre est nécessaire; grande exactitude si utilisé près de la côte 	<ul style="list-style-type: none"> • exige la mesure simultanée de deux angles; une bonne visibilité des cibles est requises; il faut connaître l'emplacement des cibles et les entretenir pour retrouver le point cherché; méthode de visée directe; donne les meilleurs résultats par temps calme; restrictions sur les angles acceptables
RADAR	variable	30–50 km	<ul style="list-style-type: none"> • équipement standard sur les navires; fonctionnement facile; donne la distance et le gisement des cibles 	<ul style="list-style-type: none"> • non portatif; exige une cible adéquate (c'est-à-dire, qui renvoie les signaux hyperfréquences)
Autotape	± 0,5 m	limitée	<ul style="list-style-type: none"> • grande exactitude; grande précision; portabilité 	<ul style="list-style-type: none"> • très coûteux (p. ex., > 50 000 \$)

¹ Coûteux : > 50 000 \$; coût modéré : 5000–50 000 \$; peu coûteux : < 5000 \$

² Des exactitudes supérieures à ± 20 m sont inhabituelles à plus de 1 km du littoral, dans les conditions normales d'exploitations

Tableau 2 Méthodes de positionnement des stations d'échantillonnage (suite)

Catégorie	Exactitude	Portée	Avantages	Inconvénients
Systèmes électroniques				
Systèmes de navigation aux hyper-fréquences (p. ex., <i>Miniranger, Trisponder, Rascal, Microfi, Del Norte</i>)	± 1–3 m	25–80 km (selon la hauteur des émetteurs-récepteurs)	<ul style="list-style-type: none"> aucune limite de visibilité; utilisateurs multiples; grande exactitude; horizon radio; portabilité; facilité d'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> coût modéré; nombreuses stations à terre requises; la logistique et la sûreté des unités nécessaires à terre augmentent les coûts; les nœuds de réflexion des signaux sont une source possible d'erreur; portée limitée en raison de la faible puissance des unités à terre
Shoran	± 10 m	< 80 km (courte portée)	<ul style="list-style-type: none"> grande exactitude 	<ul style="list-style-type: none"> portée limitée; exige deux balises répondeuses à terre
LORAN C	± 15 m et plus	jusqu'à 2800 km (longue portée)	<ul style="list-style-type: none"> aucune restriction de visibilité ou de portée; n'exige pas de personnel supplémentaire; peu coûteux; équipement existant 	<ul style="list-style-type: none"> interférence dans certaines régions; ne sert qu'à repositionnement, sauf dans des zones restreintes; nécessité de positionner d'abord le point d'échantillonnage à l'aide d'un autre système; faible couverture dans l'Arctique canadien
Decca HIFIX/6	± 1 m	jusqu'à 300 km (moyenne portée)	<ul style="list-style-type: none"> exactitude et précision élevées 	<ul style="list-style-type: none"> coûteux; exige de nombreuses stations à terre
Portée variable	± 0,5°	16–72 km	<ul style="list-style-type: none"> aucune limite de visibilité n'exige pas de personnel supplémentaire; peu coûteux; équipement existant 	<ul style="list-style-type: none"> méthode de visée directe; repose sur l'exactitude cartographique du positionnement des cibles; l'exactitude diminue avec l'augmentation de la portée
Decca Minifix	± 2 m	jusqu'à 70 km	<ul style="list-style-type: none"> exactitude et précision élevées; équipement léger 	<ul style="list-style-type: none"> coûteux
Portée-azimut	0,02° et 0,5 m	< 5 km (optique) 30 km (électronique)	<ul style="list-style-type: none"> grande exactitude; station unique; couverture circulaire 	<ul style="list-style-type: none"> un seul utilisateur; coût élevé; méthode de visée directe; les nœuds de réflexion des signaux peuvent être causes d'erreurs
Systèmes de positionnement par satellite				
SATNAV	1–10 m	illimitée	<ul style="list-style-type: none"> grande exactitude; une seule station, logistique minimale; peut être utilisé dans les régions où le spectre est restreint ou encombré; pas besoin de stations à terre; intègre les gisements obtenus par satellite et les autres sources de données 	<ul style="list-style-type: none"> couverture discontinue; coût initial de mise en œuvre élevé; effets locaux et atmosphériques pouvant causer des erreurs; distorsion du parcours des signaux au-dessus des calottes polaires
GPS or Navstar	± 100 m (0,1–1 m pour le GPS différentiel)	illimitée	<ul style="list-style-type: none"> partout dans le monde, on peut obtenir un relevé continu de sa position 	<ul style="list-style-type: none"> relativement nouveau : les coûts sont donc appelés à diminuer et son emploi à augmenter considérablement dans les quelques prochaines années; le brouillage militaire peut faire problème localement

nécessaire de sédiment. On devrait donc consulter le laboratoire d'analyse pour se faire confirmer la quantité de sédiment requise pour chaque échantillon. En général, 1 L de sédiment entier satisfait aux besoins de la caractérisation physicochimique et du dosage des contaminants. Toutefois, si l'on envisage de doser les huiles et les graisses (en général, 50 g de sédiment [poids secs] satisferont aux besoins de l'analyse des hydrocarbures pétroliers), on devrait prélever 1 L de plus de sédiment. La préparation d'un éluat exige au moins 1 L de sédiment. Bien que le volume de l'échantillon dépende de l'essai à effectuer, les déterminations biologiques de la toxicité exigent au moins de 1 à 3 L de sédiment entier par échantillon. La mesure de la bioaccumulation requiert 3 L si l'on n'a pas besoin d'échantillons répétés, si l'on emploie cinq échantillon répétés, il faudrait donc 15 L de sédiment. La caractérisation physicochimique, les analyses des contaminants et les essais biologiques exigent donc normalement de 5 à 7 L de sédiment entier par échantillon. Après avoir déterminé la taille de l'échantillon, il importe de comparer ce paramètre (tableau 3) à la capacité de l'échantillonneur (tableau 5), puis de réévaluer le nombre d'échantillons répétés par station (*cf.* § 2.3.6). Il faut également tenir compte du programme d'assurance et de contrôle de la qualité ainsi que de la nécessité ou non d'archiver les échantillons. Si le carottier ne peut pas prélever un échantillon de la taille voulue pour les essais biologiques, on prélèvera des échantillons supplémentaires et on en fera des échantillons composés (Garner *et al.*, 1988); on peut aussi intégrer dans le plan d'expérience des échantillons répétés de sédiment.

La taille ou la capacité des divers échantillonneurs de sédiment sont donnés au § 2.5.1. Les exigences à cet égard peuvent rendre nécessaire une manipulation plus poussée des échantillons, par exemple

l'obtention des sous-échantillons, d'échantillons composés ou d'échantillons fractionnés.

Nombres d'échantillons

Recommandation

- Le nombre d'échantillons à prélever est habituellement déterminé par l'étendue du lieu de l'étude, l'objet de l'étude, le type et la répartition des contaminants à doser, les caractéristiques et l'homogénéité des sédiments, les concentrations potentielles des contaminants dans les sédiments, les contraintes de l'analyse (p. ex., volume ou masse de l'échantillon) et le degré recherché de résolution statistique. Par conséquent, les besoins en échantillons devraient être déterminés au cas par cas. Dans la plupart des études de surveillance et d'évaluation, la nombre d'échantillons à prélever résulte habituellement d'un compromis entre l'idéal et la pratique. Les principales contraintes matérielles sont le coût des analyses et la logistique des prélèvements.

On peut suivre un certain nombre d'approches afin de déterminer le nombre d'échantillons requis pour atteindre un écart minimal décelable à un seuil de confiance et à une puissance statistique donnés (Cohen, 1977; Guenther, 1981, 1982; Freidman, 1982; Alldredge, 1987; Green, 1989; EC, 1991, 1995). L'USEPA (1994) a examiné de façon concise les rapports qui existent entre ces considérations statistiques. Traditionnellement, les coefficients de variation acceptables varient de 10 à 35 %, la puissance de 80 à 95 %, le seuil de confiance de 80 à 99 % et le minimum de l'écart relatif décelable de 5 à 40 % (Barth et Starks, 1985). Le sédiment peut être

Tableau 3 Volume ou poids minimal d'échantillon requis pour la mesure de chaque paramètre

Paramètre	Volume (mL)	Masse ¹	
		sèche (g)	humide (g)
Analyses physicochimiques			
Contaminants inorganiques	90	10	100
Contaminants organiques	230	50	250
Autres constituants (p. ex., COT, humidité)	300	60	330
Granulométrie	230	50	250
Hydrocarbures pétroliers ²	250 à 1000	50 à 200	275 à 1100
Essais biologiques			
Toxicité ³	1000 à 3000	200 à 600	1100 à 3300
Bioaccumulation ⁴	3000	600	3300
Extraction de l'eau de porosité ⁵	2000	S.O.	3200
Préparation d'un éluat	1000	200	1100

¹ En supposant une densité de 2,0, une teneur en matière organique modérée et une teneur en eau de 90%.

² Le volume maximal (p. ex., 1 L) n'est exigé que pour le dosage des huiles et des graisses; sinon, on se contente de 250 mL.

³ D'après les besoins de trois essais.

⁴ D'après une moyenne de 3 L de sédiment par échantillon; encore 3 L sont exigés pour chaque échantillon répété.

⁵ En supposant une densité de 2,0, une teneur modérée en matière organique et une teneur en eau de 40%.
S.O. Sans objet.

relativement homogène ou très hétérogène, selon le critère qu'on utilise pour évaluer la variabilité. Cette dernière peut être due à la répartition différentielle des diverses substances chimiques dans le sédiment, laquelle peut être propre à chaque station d'échantillonnage. En conséquence, il faut déterminer au préalable la valeur acceptable de l'effet ou l'écart prévu acceptable.

Afin de déterminer le nombre d'échantillons requis, on devrait répondre aux questions suivantes (Allredge, 1987) :

1. Quelle est l'hypothèse nulle?
2. Quelles sont les hypothèses alternatives? Qu'est-ce que l'on compare?
3. Le critère de signification est-il directionnel (test unilatéral)?
4. Quel est le seuil de signification entre la valeur prévue et la valeur réelle du critère mesuré?
5. Quelle est la valeur acceptable de l'écart entre la valeur prévue et la valeur réelle

du critère mesuré et quel est son taux de probabilité?

6. Quelle est la variabilité prévue des données?

Ayant répondu à ces questions, on peut utiliser les méthodes voulues pour déterminer le nombre requis d'échantillons. Ces méthodes, décrites dans la plupart des traités de statistique (p. ex., Steel et Torrie, 1980), ont été examinées dans un certain nombre de synthèses (Henricksen et Wright, 1977; Kratochvil et Taylor, 1981; Håkanson, 1984; EC, 1985; Alldredge, 1987; Lesht, 1988; Green, 1989; Baudo, 1990; EC, 1991; Keith, 1992). L'annexe C présente un résumé des formules statistiques généralement utilisées pour déterminer le nombre requis d'échantillons. Ces formules constituent un guide utile; toutefois, dans certains cas, des renseignements de portée locale peuvent en contre-indiquer l'emploi. La principale limite de cette approche est qu'elle impose qu'on réalise une étude préliminaire ou qu'on dispose de données historiques.

Échantillons répétés

Recommandations

- Si, à une station, il faut prélever des échantillons répétés, le nombre recommandé est d'au moins trois, de préférence cinq, sauf indication contraire à la lumière d'un échantillonnage et d'analyses préliminaires.
- Le prélèvement d'échantillons répétés devrait être obligatoire pour le volet d'assurance et de contrôle de la qualité de tout bon programme d'échantillonnage et il devrait être conforme aux objectifs de qualité des données.

- Le nombre d'échantillons répétés devrait être plus grand dans les stations situées près de la source de contamination (Skei, 1992).

Traditionnellement, dans la plupart des études de surveillance et d'évaluation, on ne prélevait qu'un seul échantillon par station. Toutefois, ce faisant, on obtient peu de renseignements sur la variabilité des sédiments à la station. L'objet de prélèvements répétés à chaque station est de permettre une comparaison statistique quantitative entre stations et à l'intérieur d'une même station (Holland *et al.*, 1993). Des sous-échantillons distincts du même prélèvement par benne ou par carottier (cylindrique ou à boîte) pourraient servir à mesurer les variations à l'intérieur de l'échantillon, mais pas nécessairement à l'intérieur de la station. Le prélèvement d'échantillons distincts à la même station procure des renseignements utiles sur la répartition spatiale des contaminants et sur l'hétérogénéité des sédiments dans la station.

Traditionnellement, on prélevait jusqu'à cinq échantillons de sédiment à chaque station pour évaluer l'hétérogénéité de la plupart des sédiments (Sly, 1978; Håkanson et Jansson, 1983; Hilton *et al.*, 1986; Smith *et al.*, 1986; Bennet, 1987; Downing et Rath, 1988; Holland *et al.*, 1993). Ces échantillons sont conservés séparément et considérés comme des échantillons répétés. Le nombre d'échantillons répétés qu'il faut prélever à chaque station dépend de la sensibilité ou de la puissance statistique recherchée. Ordinairement, il faut déterminer a priori le plus petit écart par rapport à l'hypothèse nulle que l'on considère important de déceler du point de vue scientifique ou environnemental, de même que la puissance recherchée du test

pour cette hypothèse (Green, 1989). La puissance statistique dépend de l'écart-type, du nombre d'échantillons, de l'ampleur de l'effet ou de l'écart à déceler, de la probabilité de faux négatifs (c'est-à-dire, d'erreurs du type II, où l'on ne rejette pas l'hypothèse nulle alors qu'elle est fausse) et de la probabilité de faux positifs (c'est-à-dire, d'erreurs du type I, où l'on rejette l'hypothèse nulle alors qu'elle est vraie).

Les principaux coûts à assumer les prélèvements de sédiments sont ceux des déplacements pour se rendre sur les lieux et ceux du traitement des échantillons (p. ex., analyses chimiques ou biologiques). De fait, les coûts liés aux prélèvements sur place sont relativement minimes. Pour un certain nombre d'études de surveillance où l'on étudie les caractéristiques physicochimiques des sédiments, on adopte donc l'approche suivante : on s'organise pour que le nombre de prélèvements répétés à chaque station d'échantillonnage ou le nombre de prélèvements à d'autres stations excèdent le nombre minimal correspondant aux besoins, puis on sélectionne pour l'analyse un sous-ensemble de ces échantillons, égal au minimum exigé. On détermine ensuite la précision de l'estimation de la variable étudiée et, si le coefficient de variation associé à l'estimation moyenne excède quelque critère prédéterminé (p. ex., 20 % de la moyenne), on peut alors analyser des échantillons répétés supplémentaires qui ont été archivés, tant qu'on ne satisfait pas au critère de précision. Les échantillons répétés archivés peuvent également remplacer les échantillons perdus ou gâchés, ou encore servir à la vérification indépendante d'hypothèses a posteriori qui peuvent avoir été formulées à la suite de l'examen préliminaire des données initiales. Cette approche n'est pas souhaitable pour les études prévoyant l'évaluation biologique des sédiments.

On a conservé séparément et traité comme de véritables échantillons répétés les échantillons répétés d'une station ou on les a soit combinés et homogénéisés, soit homogénéisés seulement, puis répartis en sous-échantillons qu'on a réunis en un échantillon composé. L'échantillon composé d'une station d'échantillonnage est traité comme un échantillon simple. Il peut être souhaitable de réunir en échantillons composés les sédiments prélevés dans un habitat donné quand la surveillance vise à établir une relation entre, d'une part, les renseignements sur les populations d'invertébrés et les contaminants des tissus (p. ex., sur les résidus dans les organismes) et, d'autre part, les caractéristiques chimiques des sédiments dans lesquels ces organismes sont susceptibles de passer la plus grande partie de leur vie. Les échantillons composés produits à partir d'échantillons ou de sous-échantillons peuvent donner une idée plus juste, du point de vue écologique, des scénarios d'exposition et réduire la variabilité et, par conséquent, la précision des corrélations établies entre les caractéristiques chimiques des sédiments et les indices biologiques ou les concentrations de contaminants dans les organismes entiers. La réunion des échantillons répétés d'une station d'échantillonnage en un échantillon composé est un façon de s'assurer que l'échantillon est représentatif des sédiments de cette station et qu'il est de taille suffisante pour satisfaire aux besoins des analyses (Garner *et al.*, 1988).

2.3.7 Préparatifs de l'échantillonnage

Les préparatifs du programme d'échantillonnage doivent comporter les étapes suivantes :

- A. Rédaction d'un protocole, pour les besoins de la logistique, y compris des renseignements sur les points suivants :

- accès au lieu de l'étude (p. ex., par route ou par air seulement, type de véhicule à utiliser, expédition de l'équipement, type et taille du bateau, trajet, temps mis pour s'y rendre);
 - personnel qualifié pour la conduite sûre du bateau;
 - méthodes permettant de localiser les stations d'échantillonnage désignées et de maintenir la position à chaque station au cours de l'échantillonnage (p. ex., équipement de positionnement que font fonctionner des personnes compétentes, également chargées de son étalonnage et de son entretien, et système d'ancrage);
 - accès aux stations d'échantillonnage (p. ex., temps effectivement pris pour prélever et traiter les échantillons à chaque station, temps exigé pour se déplacer d'une station à l'autre);
 - place suffisante à bord ou sur la plateforme d'échantillonnage pour le prélèvement des échantillons et l'enregistrement des mesures prises à la station ou sur les échantillons;
 - manipulation et entreposage temporaire sur place des prélèvements;
 - système de communication (et système de secours) pour surveiller la météo et rapporter la position et le progrès vers une base à terre;
 - trajet et moyens d'accès à un entrepôt temporaire de terrain;
 - plans d'urgence en cas d'accident;
 - prise en considération, dans le calendrier des prélèvements, du temps à prendre pour bien affronter des circonstances imprévues;
 - communication du plan et du calendrier d'échantillonnage aux autorités compétentes.
- B. Préparation de listes de contrôle distinctes de l'équipement ou des réactifs nécessaires aux fins suivantes :
- prélèvements des divers types d'échantillons (p. ex., bennes, carottiers, gaines de carottier, soupapes de carottier, câbles, charges détonantes, boîtes à outils, etc.);
 - manipulation des échantillons (p. ex., spatules, pelles, auges d'homogénéisation, récipients à échantillon, agents de conservation);
 - nettoyage et réparation ou entretien de l'équipement d'échantillonnage;
 - mesures sur le terrain (p. ex., appareils à mesurer le pH, l'oxygène dissous, la température et la conductivité, stylos à l'épreuve de l'eau, essuie-tout, thermomètres, réfractomètres);
 - entreposage des échantillons (p. ex., glace, glacières, réfrigérateurs, congélateurs);
 - transport des échantillons (p. ex., récipients d'expédition, matériaux isolants pour arrimer les récipients à l'échantillon);
 - choses de première nécessité pour le personnel (p. ex., nourriture, gîte, eau);
 - localisation des stations d'échantillonnage et du lieu de l'étude (p. ex., cartes, équipement de navigation et de communication);

- transport jusqu'au lieu de l'étude (p. ex., véhicule, bateau ou les deux).

Chaque liste de contrôle devrait relever d'un technicien ou d'un adjoint chargé des travaux de terrain. Le plan et le calendrier d'échantillonnage devraient être affichés, de sorte que tout le personnel sera prévenu de la nature et du moment des travaux. Les nom, adresse et numéro(s) de téléphone de tous ceux qui participent aux préparatifs et à l'exécution du programme d'échantillonnage devraient être mis à la disposition de tous les participants et les tâches et responsabilités de chacun devraient être clairement indiquées. Étant responsable, au bout du compte, de tous les aspects de l'étude, le directeur ou le gestionnaire de cette dernière devrait s'assurer que le personnel concerné comprend très bien son rôle et est capable de s'acquitter des tâches et responsabilités qui lui sont confiées. La planification d'urgence devrait prévoir les besoins en personnel de relève en cas d'accident ou de maladie. L'échantillonnage devrait toujours être effectué par au moins deux techniciens.

Les réactifs utilisés pour nettoyer, faire fonctionner ou étalonner l'équipement et pour prélever, préserver ou traiter les échantillons devraient être manipulés par des personnes qualifiées, et les renseignements utiles à la protection de la santé et à la sécurité (p. ex., les fiches signalétiques ou fiches techniques santé-sécurité) devraient être accessibles.

Pour assurer le fonctionnement adéquat et sûr de l'équipement, les protocoles approuvés et les modes opératoires normalisés (y compris les exigences concernant le contrôle et l'assurance de la qualité) devraient toujours être accessibles. Les formulaires à remplir et le journal des travaux devraient être préparés à l'avance, de sorte qu'on n'aura qu'à y inscrire, rapidement et efficacement, les

données et les notes de terrain. Les formulaires supplémentaires devraient être disponibles, en cas de perte ou d'accident. Les formulaires et les livres devraient être indéchirables et à l'épreuve de l'eau. Dans certaines circonstances, des enregistrements audio ou audiovisuels pourraient se révéler précieux.

Tout l'équipement de prélèvement et de manipulation des échantillons doit être nettoyé, et on doit en examiner toutes les pièces pour en assurer le bon fonctionnement (p. ex., montage ou fonctionnement sur place) avant de les emporter en campagne. Pour chaque pièce indispensable d'équipement, on devrait posséder une trousse de réparation, en cas de mauvais fonctionnement ou de perte des pièces détachables. On devrait se munir d'équipement et d'échantillonneurs de réserve.

Les récipients d'entreposage et de transport et les récipients à échantillon, y compris des récipients supplémentaires destinés à remplacer les récipients perdus ou brisés, devraient être préalablement traités et convenablement étiquetés (c'est-à-dire, avec une étiquette autocollante à l'épreuve de l'eau sur laquelle on peut inscrire les renseignements utiles avec une plume à l'encre indélébile, capable de marquer les surfaces mouillées). Leurs couvercles doivent bien fermer, et, si les échantillons sont destinés à servir de preuves légales, les récipients devraient être transportés sur le lieu de l'étude dans un contenant verrouillé.

Avant les prélèvements, on devrait préparer un journal d'inventaire et un journal de suivi des échantillons et les confier à une personne qui sera tenue de surveiller les échantillons de leur prélèvement jusqu'à leur élimination ou leur archivage, en passant par leur analyse.

Les mesures de sécurité applicables à la conduite du bateau, au fonctionnement de l'équipement d'échantillonnage et aux méthodes de manutention des échantillon devraient être observées, sous la responsabilité de l'agent préposé à la santé et à la sécurité sur le terrain. Au besoin, l'assurance et le contrôle de la qualité devraient être intégrés dans tous les aspects du programme d'échantillonnage.

La préparation soignée et la planification détaillée du programme d'échantillonnage peuvent parer à beaucoup de frustrations que l'on pourrait subir au cours des prélèvements ou, du moins, peuvent en réduire les effets au minimum. Avant l'embarquement de l'équipe d'échantillonnage sur un bateau, il faut vérifier la météo. L'un des éléments indispensables à la réussite d'une campagne est la présence d'un personnel de terrain expérimenté, qui comprend ses tâches et responsabilités, qui connaît et comprend les modes opératoires normalisés et les protocoles approuvés et qui sait malgré tout s'adapter aux imprévus.

2.4 Mesures et observations sur le terrain

Vitales pour toute étude prévoyant le prélèvement d'échantillons de sédiment, elles devraient être clairement inscrites dans les journaux de terrain. Voici les renseignements à consigner au moment de chaque prélèvement à une station d'échantillonnage (Murdoch et MacKnight, 1991) :

- numéro de l'échantillon, numéro de l'échantillon répété, numéro de la station, identification de l'emplacement (p. ex., nom);
- heure et date du prélèvement;
- conditions météorologiques ambiantes, y compris la vitesse et la direction du vent, l'action des vagues, les courants, la marée, la circulation de navires, la température de l'air et de l'eau et l'épaisseur de la glace (s'il y a lieu);
- emplacement de la station (p. ex., positionnement) et emplacement du prélèvement de chaque échantillon répété;
- type de bateau utilisé (p. ex., tonnage, puissance, type de moteur);
- type d'échantillonneur et toute modification apportée au cours du prélèvement;
- profondeur de l'eau à chaque station d'échantillonnage et profondeur d'échantillonnage des sédiments;
- nom de personnel qui a prélevé les échantillons;
- détails concernant des faits inhabituels qui pourraient être survenus au cours du prélèvement (p. ex., contamination possible de l'échantillon, mauvais fonctionnement de l'équipement, aspect inhabituel de l'échantillon, mauvais contrôle de la descente de l'échantillonneur, etc.);
- description du sédiment, y compris sa texture et sa consistance, sa couleur, son odeur, la présence d'organismes vivants, une estimation de la quantité prélevée par benne, la longueur et l'aspect des carottes (une photographie constitue un bon enregistrement permanent de l'échantillon);
- écarts par rapport aux modes opératoires normalisés.

Les mesures sur le terrain devraient comprendre les paramètres suivants :

- température et pH du sédiment à l'interface sédiment-eau;
- potentiel d'oxydoréduction des sédiments en surface, afin d'établir les conditions d'oxygénation (présence ou absence d'oxygène);
- concentration d'oxygène dissous dans les sédiments de surface, afin de déterminer si ces derniers sont oxygénés ou non ou la profondeur à partir de laquelle les sédiments sont exempts d'oxygène;
- température et salinité ou conductivité de l'eau au-dessus des sédiments.

Ces mesures pourraient aider à l'interprétation des résultats des analyses.

2.5 *Prélèvement des sédiments entiers*

Recommandations

- Les échantillonneurs recommandés pour le prélèvement des sédiments dans des milieux d'eau douce, estuariens et marins sont présentés dans les figures 3, 4 et 5, respectivement.
- Pour le prélèvement des sédiments de surface, la profondeur de pénétration minimale recommandée est de 6 à 8 cm; toutefois, on préfère une profondeur de 10 à 15 cm.
- Pour une bonne maîtrise de la vitesse de descente et de remontée des échantillonneurs, il faut un système de treuillage adéquat.
- Le bateau ou la plate-forme servant au prélèvement devrait être stationnaire et aussi stable que possible.
- À chaque échantillon doivent correspondre des notes de terrain, des mesures ou les deux.
- Si des sédiments y adhèrent, il faut soigneusement rincer l'extérieur de l'échantillonneur avec de l'eau propre, dès la récupération de l'appareil, avant le transfert de l'échantillon dans le récipient d'entreposage.
- On devrait rincer à fond l'échantillonneur avec l'eau de la station d'échantillonnage, entre les prélèvements à cet endroit, et avec l'eau de la prochaine station d'échantillonnage, avant d'y prélever un échantillon. On doit également rincer à fond l'équipement utilisé pour la manutention des sédiments entre les prélèvements.
- L'échantillon doit satisfaire aux critères d'acceptabilité (p. ex., cf. § 2.5.4) avant d'être considéré comme adéquat.
- Pour les études géochimiques, il est recommandé de prélever sur place l'eau de porosité, mais pour les essais de toxicité répétitifs, cette eau peut être extraite au laboratoire par centrifugation des échantillons de sédiment.
- Les prélèvements doivent être conformes au programme d'assurance et de contrôle de la qualité de l'échantillonnage et aux objectifs de qualité des données :

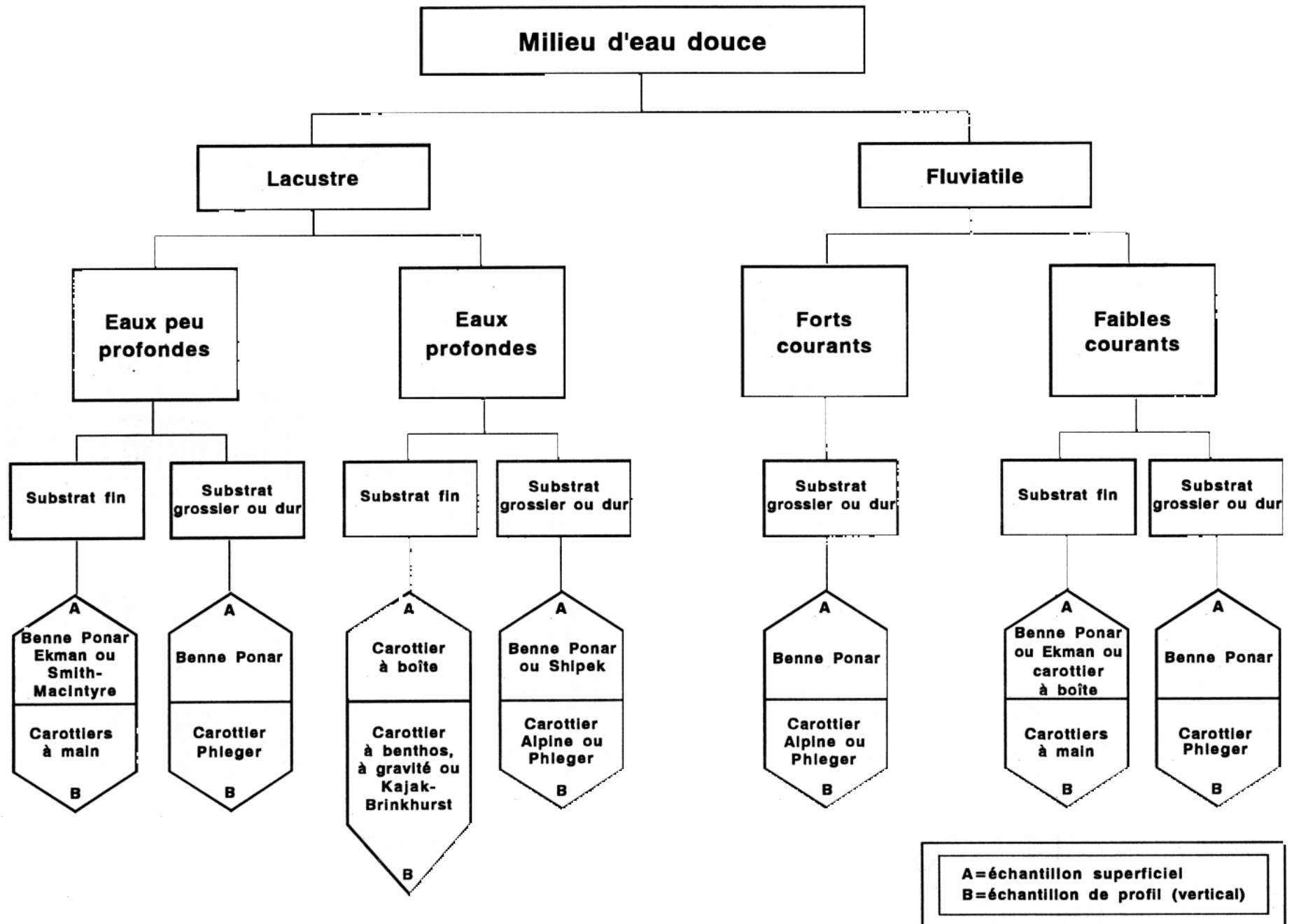


Figure 3 Échantillonneurs recommandés pour différents types de milieux d'eau douce

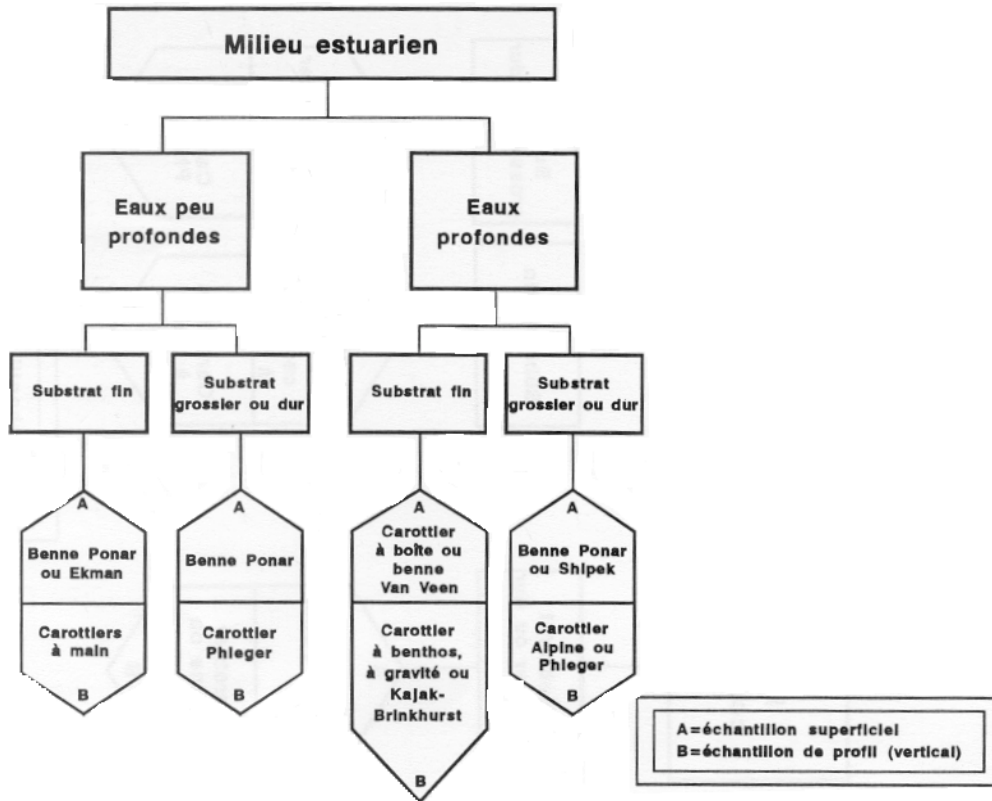


Figure 4 Échantillonneurs recommandés pour différents types de milieux estuariens

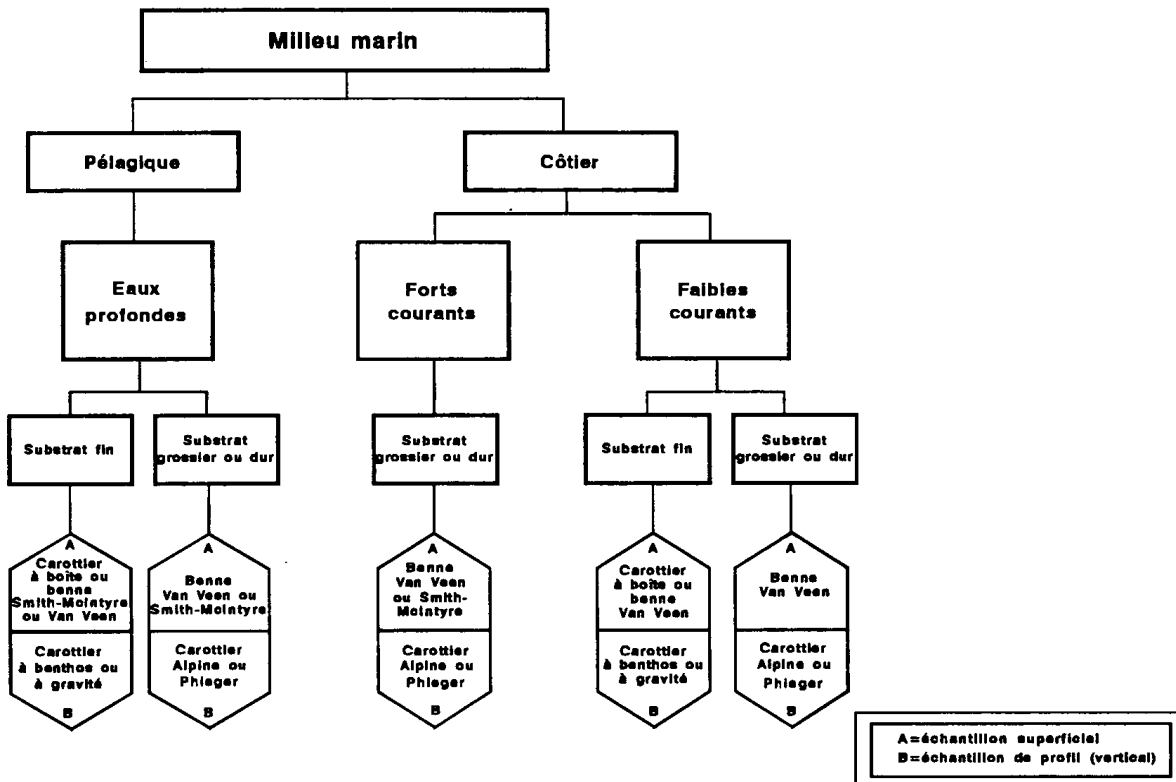


Figure 5 Échantillonneurs recommandés pour différents types de milieux marins

- S l'exécution du plan d'échantillonnage ne devrait être confiée qu'à du personnel expérimenté, formé aux modes opératoires normalisés pour faire fonctionner l'équipement;
- S tout au long de l'étude, il faut pourvoir à l'entretien et à l'étalonnage de l'équipement d'échantillonnage et il faut toujours utiliser ce dernier de la même façon;
- S en tout temps au cours de la campagne, les modes opératoires normalisés doivent être à la disposition au personnel;
- S les méthodes et les marches à suivre pour les prélèvements doivent être à la disposition du personnel;
- S à chaque station, on devrait prélever des échantillons répétés.

2.5.1 Critères et facteurs à prendre en considération pour la sélection de l'échantillonneur

La documentation contient de nombreuses descriptions de méthodes et de marches à suivre pour le prélèvement de divers types de sédiments dans différents milieux (*cf.* les synthèses de Baudo *et al.*, 1990; Murdoch et MacKnight, 1991; ASTM, 1992a; Burton, 1992). Ainsi, Baudo *et al.* (1990) présentent plusieurs facteurs dont il faudrait tenir compte pour le prélèvement de sédiments, la plupart concernant la sélection de la station et les échantillonneurs (tableau 4). Il est évident qu'il n'existe pas un seul échantillonneur qui satisfera à toutes les conditions.

La plupart des échantillonneurs sont conçus pour isoler et récupérer un volume constant de sédiments à une profondeur déterminée

sous la surface, en perturbant le moins possible l'intégrité de l'échantillon et en ne contaminant pas ce dernier. Dans la plupart des études, il est primordial de maintenir l'intégrité des prélèvements; en effet, en perturbant la structure du sédiment, on en modifie les caractéristiques physicochimiques et biologiques, ce qui risque d'influer sur le partage, la complexation, la spéciation et la biodisponibilité des substances toxiques et, partant, sur la toxicité potentielle du sédiment. Toutefois, avec la plupart des appareils, il est difficile de ne pas perturber les sédiments et, dans certains cas précis (p. ex., immersion en mer des matières draguées), le plus important n'est peut-être pas de maintenir l'intégrité de l'échantillon mais de procéder de façon constante et bien documentée avec un échantillonneur qui fonctionne bien.

Les trois principaux types d'échantillonneur fonctionnent selon le principe de la benne, du carottier ou de la drague. Les bennes prennent des échantillons en surface pour la détermination et l'évaluation de la répartition horizontale des caractéristiques des sédiments. Les carottiers prélèvent des échantillons verticaux pour la détermination de la répartition verticale des caractéristiques des sédiments. Les dragues servent surtout à recueillir le benthos. Les avantages et les inconvénients des divers appareils ou méthodes sont résumés dans le tableau 5 et analysés brièvement dans les paragraphes qui suivent. On en trouvera des analyses plus détaillées dans d'autres ouvrages (de Groot et Zschuppe, 1981; Baudo *et al.*, 1990; ASTM, 1992a; Burton, 1992; Sly et Christie, 1992).

Les bennes ont l'avantage d'être faciles à obtenir, à manipuler et à faire fonctionner, d'avoir un prix modéré, d'être polyvalentes en ce qui concerne le substrat et de pouvoir

Tableau 4 Facteurs dont il faudrait tenir compte pour la sélection des échantillonneurs de sédiments

L'échantillonneur de sédiment idéal devrait, dans l'ensemble :

- permettre la libre circulation de l'eau au cours de la descente, pour éviter d'engendrer une onde de pression
- être muni d'une lame ayant un tranchant effilé et formant un angle étroit, et posséder une surface intérieure lisse et des parois minces pour perturber le moins possible les sédiments
- se fermer hermétiquement pour la remontée
- permettre le sous-échantillonnage
- pouvoir avoir un poids réglable pour la pénétration de différents substrats
- pouvoir ramener un volume de sédiment suffisant pour satisfaire aux besoins des analyses
- collecter de façon efficace et constante des sédiments à diverses profondeurs dans l'eau
- collecter de façon efficace et constante des sédiments aux profondeurs d'échantillonnage voulues
- ne pas contaminer les sédiments ni en altérer la nature
- exiger le moins possible d'équipement auxiliaire
- être de fonctionnement facile et sûr et ne pas exiger une longue formation du personnel
- se transporter facilement et être facile à monter sur place

Source : d'après Baudo, 1990; Håkanson et Jansson, 1983.

prélever soit de petits volumes (de 0 à 10 cm de profondeur; p.ex., Birge-Ekman, Ponar, mini-Ponar ou mini-Shipek) soit de gros volumes (de 0 à 30 cm de profondeur; p. ex., Van Veen, Smith-McIntyre, Petersen).

Lorsqu'on les utilise avec soin, on peut éviter la plupart des problèmes découlant d'une pénétration imprévisible dans les sédiments, de la perte de sédiments due à l'inclinaison de l'appareil ou à l'action de l'eau au cours de la remontée, du mélange des couches de sédiments lorsque l'appareil touche le fond, de la perte des sédiments fins de surface due aux vagues créées par la remontée et de la sensibilité aux effets de la houle et des courants (Plumb, 1979; Golterman *et al.*, 1983; Blomqvist, 1990; Baudo *et al.*, 1990; ASTM, 1992a).

On préfère généralement les carottiers lorsqu'il est essentiel de maintenir l'intégrité du profil des sédiments, parce qu'il s'agit des dispositifs les moins perturbateurs. Favorisant le moins l'oxydation, les carottiers devraient être privilégiés lorsqu'il importe de maintenir un milieu exempt d'oxygène. Il en existe plusieurs types : à main (tubes de 50 à 120 cm); à gravité, pour des prélèvements à une profondeur maximale de 50 cm (p. ex., Kajak-Brinkhurst, Phleger); ou 2 m (p. ex., Benthos et Alpine); multiples (de 2 à 4 tubes, profondeur maximale de 50 cm); à boîte (profondeur maximale de 50 cm); à piston (profondeur de plus de 2 m). Les carottiers "boomerang" (profondeur maximale de 1,2 m) servent à prélever des échantillons du fond de la mer, tandis que les carottiers par percussion ou par vibration

Tableau 5 Avantages et limites des différents échantillonneurs de sédiments les plus fréquemment utilisés¹

Appareil et dimensions	Emploi	Profondeur des sédiments prélevés (cm)	Volume de l'échantillon de sédiment (cm ³)	Avantages	Inconvénients
BENNES					
<i>Orange-Peel</i> (à secteurs ouvrants), Smith-McIntyre	lacs, cours d'eau estuaires profonds	0–30	10 000–20 000	conçues pour les substrats durs	perte de sédiments fins; plus lourdes que les autres bennes; peuvent requérir un treuil; contamination possible par le métaux
*Birge-Ekman (petite)	lacs et zones marines; limon, sable et sédiments mous	0–10	≤ 3 400	comme l'Ekman	comme l'Ekman
*Birge-Ekman (grosse)	lacs et zones marine; limon, sable et sédiments mous	0–30	≤ 13 300	comme l'Ekman	limitée aux zones de faible courant; profondeur de pénétration plus grande du fait de la masse de l'appareil
*Ponar (ordinaire)	lacs, cours d'eau et estuaires profonds; utile aux prélèvements dans le sable, le limon ou l'argile	0–10	7 250	la plus polyvalente; convient à la plupart des substrats; gros échantillon intact, permettant le sous-échantillonnage; convient aux sédiments grossiers et fermes	l'onde de choc à la descente peut perturber les sédiments fins; la fermeture incomplète des mâchoires peut entraîner une perte d'échantillon; contamination possible du fait de la construction à ossature métallique
Ponar (mini)	lacs, cours d'eau et estuaires profonds; utile aux prélèvements dans le sable, le limon ou l'argile	0–10	1 000	convient à la plupart des substrats non compactés	la capacité moindre ne réduit pas la perturbation de l'échantillon
* Van Veen	lacs, cours d'eau et estuaires profonds; utile aux prélèvements dans le sable, le limon ou l'argile; efficace dans les milieux marins, dans les eaux profondes et dans les courants violents	0–30	18 000–75 000	convient à la plupart des substrats; gros échantillon intact, permettant le sous-échantillonnage; disponible en acier inoxydable	L'onde de choc à la descente peut perturber les sédiments fins; la fermeture incomplète des mâchoires peut entraîner une perte d'échantillon; fermeture prématurée des mâchoires dans les eaux agitées; contamination possible du fait de la construction à ossature métallique

1

Cette liste, représentative des divers types d'échantillonneurs disponibles, n'est pas exhaustive. Les critères de sélection à la lumière desquels sont formulées les recommandations n'ont été appliqués qu'aux dispositifs désignés par un astérisque (*).

Tableau 5 Avantages et limites des différents échantillonneurs de sédiments les plus fréquemment utilisés (suite)

Appareil et dimensions	Emploi	Profondeur des sédiments prélevés (cm)	Volume de l'échantillon de sédiment (cm ³)	Avantages	Inconvénients
*Petersen	lacs, cous d'eau et estuaires profonds; utile dans la plupart des substrats	0–30	9 450	gros échantillon; peut pénétrer la plupart des substrats	lourde, requiert probablement un treuil; pas de couvercle permettant le sous-échantillonnage; tous les autres inconvénients des Ekman et des Ponar
*Shipek (ordinaire)	principalement dans les eaux marines et les gros lacs et réservoirs intérieurs; inutile dans les substrats de sable, d'argile ou de till compactés	0–10	3 000	la benne peut être ouverte pour le sous-échantillonnage; retient bien les sédiments fins	contamination possible due à la construction métallique; lourde, peut exiger un treuil
Shipek (mini)	lacs; utile dans la plupart des substrats mous	0–3	500	se manoeuvre facilement à la main à partir de la plupart des plats-formes	exige une pénétration verticale; petite capacité; entraînement des sédiments fins; fermeture prématurée
CAROTTIERS					
Tube de verre ou de plastique fluorocarboné (d.i. : 3,5–7,5 cm ; longueur : ≤ 120 cm)	eaux peu profondes dans lesquelles on peut marcher ou eaux profondes si l'on dispose d'un appareil respiratoire autonome de plongée; substrat mou ou semi-consolidés	0–10	96–442	préserve la stratification et permet de faire l'historique de la sédimentation; rapide; échantillons pouvant être expédiés tels quels au laboratoire; risque minime de contamination	petit échantillon; exige des prélèvements répétitifs
*Carottier manuel à gaine amovible de plastique fluorocarboné ou de verre (d.i. : 3,5–7,5 cm; longueur : ≤ 120 cm long)	comme ci-dessus, sauf que l'on peut prélever des sédiments plus consolidés	0–10	96–442	les poignées permettent une pénétration plus facile du substrat; les avantages décrits ci-dessus s'appliquent	il faut manoeuvrer avec soin pour empêcher les sédiments de s'échapper; il faut enlever les gaines avant les prélèvements répétitifs; léger risque de contamination par les métaux dû au tube et au trépan
*Carottier à boîte	comme ci-dessus, mais la profondeur des sédiments non consolidés doit être d'au moins 1 m	0–50	≤ 30 000	prélèvement d'un gros échantillon, non perturbé, ce qui permet le sous-échantillonnage	manoeuvre difficile; exige de la machinerie lourde

Tableau 5 Avantages et limites des différents échantillonneurs de sédiments les plus fréquemment utilisés (suite)

Appareil et dimensions	Emploi	Profondeur des sédiments prélevés (cm)	Volume de l'échantillon de sédiment (cm ³)	Avantages	Inconvénients
* Carottiers par gravité Phleger (d.i. : 3,5; longueur : ≤ 50 cm)	lacs et cours profonds; sédiments semi-consolidés	0–50	≤ 481	faible risque de contamination de l'échantillon; maintient assez bien l'intégrité des sédiments; forte charge ponctuelle et tranchant aigu	il faut manoeuvrer avec soin pour éviter de renverser l'échantillon; l'échantillon est petit, ce qui exige des prélèvements répétitifs et l'enlèvement des gaines; l'échantillonnage prend du temps
* Kajak-Brinkhurst (d.i. : 5 cm longueur : ≤ 70 cm)	lacs et cours d'eau profonds; sédiments mous, fins	0–70	≤ 1 374	plus grande capacité que le Phleger	comme ceux du Phleger
* Carottier à benthos par gravité (d.i. : 6,6 et 7,1 cm; longueur : ≤ 3m)	sédiments mous, fins	0–3 m	≤ 10 263	aucune perte d'échantillon par le tube parce que la soupape est fixée à la gaine; ailerons facilitant la pénétration verticale	pesées exigées pour une pénétration profonde, de sorte que la capacité de levage requise est de 750 à 1000 kg; pénétration verticale nécessaire; tassement du sédiment
* Carottier par gravité Alpine (d.i. : 3,5 cm)	substrats mous, fins, semi-consolidés	≤ 2 m	≤ 1 924	tubes d'acier interchangeable pour différentes profondeurs de pénétration	exige une pénétration verticale, mais ne possède pas d'ailerons stabilisateurs; pénétration souvent non verticale et incomplète; exige une capacité de levage de 2000 kg; cisaillement des lamines et perturbation de l'intégrité du sédiment; sédiment compacté
*Carottiers à piston	fond océanique et grands lacs profonds; la plupart des substrats	3–20 m	?	en eau profonde, ramène ordinairement une carotte relativement peu perturbée	exige une capacité de levage de > 2 000 kg; non-déclenchement du piston et non-positionnement du piston à la pénétration; perturbation de la couche de surface (jusqu'à 0,5 m)
Carottier à piston BMH-53	eaux de ≤ 2 m de profondeur, si utilisé avec une tige de rallonge; dépôts mous à semi-consolidés	> 2 m	?	le piston assure une plus grande rétention de l'échantillon	les carottes doivent être extraites sur place, dans d'autres récipients; les tubes métalliques augmentent le risque de contamination par les métaux

Tableau 5 Avantages et limites des différents échantillonneurs de sédiments les plus fréquemment utilisés (suite)

Appareil et dimensions	Emploi	Profondeur des sédiments prélevés (cm)	Volume de l'échantillon de sédiment (cm ³)	Avantages	Inconvénients
Carottier boomerang (d.i. : 6,7 cm)	fond océanique (jusqu'à 9000 m de profondeur)	1 m	3 525	équipement minimal à bord, de sorte que l'on peut utiliser de petits bateaux	pénétration d'à peine 1,2 m; la remontée exige des eaux calmes; de 10 à 20 % de pertes
Carottier à vibration, (d.i. : 5–7,5 cm)	plateau continental, 3–6 m grands lacs; substrats de sable, de sable limoneux et de sable graveleux		5 890–13 253	pour les profils en profondeur, effectués des prélèvements en substrats sableux avec une perturbation minimale; on peut le faire fonctionner à partir de petits bateaux (p. ex., 10 m de longueur)	exige beaucoup de main-d'oeuvre; le montage et le démontage peuvent exiger des plongeurs; perturbation de la couche de surface (jusqu'à 0,5 m)
DRAGUES					
Young (Van Veen de 0,1 m ² modifiée, à gaine de plastique fluorocarboné ou de Kynar)	zones lacustres et marines	0–30	≤ 18 000	supprime la contamination par les métaux; moins de vagues à la remontée	coûteuse; exige un treuil
*Ekman	sédiments mous à être semi-durs; peut utilisée à partir d'un bateau, d'un pont ou d'une jetée, dans des eaux de diverses profondeurs	0–10	≤ 4 000	prélève un échantillon plus gros que les carottiers à tube; échantillonnage possible par ouverture du couvercle	fermeture des mâchoires risquant d'être incomplète et perte d'échantillon; onde de choc pouvant perturber les sédiments fins; contamination possible due à la construction métallique; perte possible de sédiments fins à la remontée; emploi difficile dans les courants
Pelles, bennes	divers milieux, selon la profondeur et le substrat	variable	10 000–20 000	peu coûteux, facile à utiliser	perte de sédiments fins pendant la remontée dans l'eau

Source : ASTM, 1992a; Murdoch et MacKnight, 1991.

à piston stationnaire (jusqu'à 13 m de profondeur) servent dans les argiles dures, les argiles schisteuses et les grès calcaires (Murdoch et MacKnight, 1991).

On peut utiliser un carottier vibrant portatif pour prélever des sédiments jusqu'à une profondeur de 18 m d'eau (Lanesky *et al.*, 1979). Même si les carottiers possèdent l'avantage de prélever des échantillons de sédiments de surface (les 15 à 30 cm supérieurs) et de sédiments profonds (≥ 30 cm) qui sont intacts et ont subi une perturbation minimale, peu d'entre eux sont efficaces dans les substrats où se trouvent du sable, du gravier, de l'argile ou du till. La principale limite des carottiers est que, bien que le diamètre intérieur des tubes puisse varier (de 3,5 à 10 cm), le volume de l'horizon superficiel (jusqu'à 5 cm de profondeur) est relativement petit; il faut donc répéter les prélèvements pour obtenir la quantité voulue de matière, ce qui prend beaucoup de temps. La perte de la couche très poreuse à l'interface sédiments-eau (en raison du déplacement des matériaux lors du contact initial, de la compression au cours de la pénétration, d'une pénétration trop profonde ou de l'inclinaison de tube) et la perte de sédiments au cours de la remontée sont des problèmes fréquents, qu'il faut surmonter ou réduire au minimum en s'assurant de se conformer à de bonnes techniques de prélèvement.

Les dragues servent surtout au prélèvement du benthos, car elles sont habituellement dotées de filets latéraux visant à laisser passer les sédiments fins et à retenir les sédiments grossiers ainsi que les organismes vivants. Il est presque impossible de mesurer avec précision la superficie raclée par la drague ou d'estimer la profondeur à laquelle l'échantillon a été prélevé. En outre, on perturbe le sédiment, on chasse l'eau de porosité, on perd les composés

organiques volatils et les sédiments fins s'échappent au cours de la remontée. C'est pourquoi on recommande d'employer plutôt les bennes et les carottiers. C'est une opinion à laquelle concourt l'ASTM (1992 a et b).

2.5.2 *Profondeur de pénétration*

La profondeur recherchée de pénétration dans les sédiments dépend des objectifs de l'étude, du type d'échantillonneur, de la nature du sédiment et du volume d'échantillon requis. La profondeur de pénétration exacte dépend principalement du type d'échantillonneur et de la nature du sédiment. Dans la plupart des études de surveillance et d'évaluation pour lesquelles l'historique de la contamination n'est pas d'intérêt prioritaire, on s'intéresse aux 5 cm supérieurs de sédiments en vue de la caractérisation chimique et de l'évaluation de la toxicité. En général, les contaminants les plus récents que l'on veut étudier et la plus grande partie de l'endofaune se trouvent dans les 2 cm supérieurs, auxquels l'épifaune a accès (Burton, 1992). On recommande donc une profondeur de pénétration de 10 à 15 cm et une profondeur minimale de 6 à 8 cm afin de perturber le moins possible la couche supérieure au cours du prélèvement. Pour prélever les sédiments de surface, on peut utiliser des carottiers et des bennes. Pour les prélèvements plus profonds, nous recommandons des carottiers conçus à cette fin (*cf.* tableau 5).

2.5.3 *Fonctionnement de l'échantillonneur*

Benne. Pour le prélèvement de sédiments, la vitesse de descente devrait être réglée, et on ne devrait pas permettre une "chute libre". Pour réduire au minimum le vrillage au cours de la descente, un émerillon à roulement à billes devrait relier l'échantillonneur au câble. La benne devrait toucher le substrat ou être positionnée juste

au-dessus, et ne pénétrer dans les sédiments que par son seul poids ou par le mécanisme à piston. Un système de treuillage devrait être installé pour contrôler la descente et la remontée du dispositif. Après la fermeture de l'échantillonneur sur sa prise, on devrait lentement l'arracher du fond, puis le remonter à la surface à la vitesse d'environ 30 cm/s. À son arrivée en surface, on devrait soigneusement en arroser l'extérieur avec de l'eau de la station, pour déloger les matières susceptibles de contaminer l'échantillon au cours du transfert, et inspecter la benne pour s'assurer qu'elle est bien fermée. Le maintien d'une charge hydraulique au moyen d'un godet submergé pouvant recevoir l'échantillonneur permettra de réduire la perte de sédiments mous au cours de la sortie de l'eau. Le godet et l'échantillonneur sont retirés ensemble (Hesselein, 1993). On devrait se conformer au mode opératoire normalisé propre à chaque échantillonneur pour en assurer le bon fonctionnement.

Carottier. Le carottage à la main devrait se faire avec soin, afin de perturber ou de comprimer le moins possible le substrat au cours de la collecte ou de l'obturation. Rutledge et Fleeger (1988) ont montré que les sédiments prélevés par des plongeurs avec des carottiers à main peuvent subir un brassage dans le tube du carottier au cours de la remontée jusqu'à l'aire libre. Pour réduire au minimum la perturbation du sédiment, l'échantillon doit être maintenu en position verticale et, le plus possible, stationnaire et à l'abri des vibrations au cours du transport.

Le mode de construction, de montage et de fonctionnement varie énormément d'un carottier à un autre; il est donc très important de suivre le mode opératoire normalisé propre à chaque appareil, pour en assurer le bon fonctionnement. On devrait bien

maîtriser la vitesse de descente, notamment quand le carottier commence à pénétrer dans les sédiments, pour éviter de perturber leur surface par l'onde de choc qui précède l'appareil et pour réduire au minimum la compression due à la résistance de frottement des parois de la gaine. S'il y a lieu (c'est-à-dire, lorsque la masse ou le type de carottier l'exigent), on devrait utiliser des treuils afin de réduire au minimum le vrillage et l'inclinaison et de maîtriser la vitesse de descente et de remontée. Il faut arracher et remonter soigneusement le carottier afin de réduire au minimum la perte de sédiment et la perturbation de la carotte. La remontée devrait se faire à une vitesse constante, semblable à celle recommandée pour les bennes. Lorsqu'il faut obturer le carottier, il est vital de la faire bien et rapidement, au bon moment. Si le fonctionnement du carottier est déclenché par un messenger, il importe que tous les câbles soient dégagés et tendus le plus possible. À l'arrivée du carottier à l'air libre, on devrait, si l'échantillon est bien bouché, arroser l'échantillonneur à grande eau, si nécessaire, pour le débarrasser des matières qui adhèrent à l'extérieur et qui pourraient nuire à la manutention de la carotte, notamment au retrait de la gaine. On devrait soigneusement retirer cette dernière, la maintenir en position verticale examiner la carotte pour en déterminer l'acceptabilité (§ 2.5.4) et en décrire l'aspect physique.

Quel que soit le type d'échantillonneur, on doit avoir sous la main son mode opératoire normalisé, que tout le personnel participant aux prélèvements devrait bien connaître. Le bateau ou la plate-forme d'échantillonnage devrait être fixe et suffisamment stable pour permettre l'inspection et la manutention de prélèvements. Chaque échantillon doit être accompagné de notes de terrain (*cf.* § 2.4). On doit nettoyer à fond l'échantillonneur

avant chaque prélèvement et avant de se rendre à la station suivante, en le plongeant plusieurs fois en succession rapide dans l'eau pour le débarrasser des sédiments qui y adhèrent. On peut également l'arroser avec de l'eau du lac, du cours d'eau ou de la mer où a lieu l'étude. Avant les prélèvements à la station suivante, il faudrait rincer l'échantillonneur avec l'eau de cette station.

2.5.4 Critères d'acceptabilité

On devrait examiner tous les échantillons pour s'assurer que :

- l'eau sus-jacente (s'il y en a) est limpide ou n'est pas excessivement trouble;
- l'interface sédiment-eau est intacte, sans signe de renardage, d'entraînement d'échantillon ou de pénétration exagérée;
- la profondeur de pénétration voulue a été atteinte;
- il n'y a pas de signe de fermeture incomplète de la benne ni que cette dernière ou le carottier a pénétré de biais dans les sédiments ou a gîté à la remontée (entraînant la perte de sédiment);
- la carotte est complète, sans présence d'air à l'extrémité supérieure de la gaine avant l'obturation (c'est-à-dire, qu'il n'y a pas eu de perte de sédiment);
- la longueur de la carotte est dans l'intervalle fixé dans le protocole d'échantillonnage.

Si l'échantillon ne satisfait pas à l'un de ces critères, il faudrait le rejeter et en prélever un autre sur place. Ce deuxième prélèvement devrait être aussi rapproché que possible de l'emplacement du premier et,

lorsque le sens du courant est connu, il devrait se faire en amont. Le rejet des échantillons non retenus ne devrait pas perturber les prélèvements ultérieurs dans cette station ni dans d'autres stations éventuelles.

2.5.5 Prélèvement d'échantillons de contrôle et de référence

Le prélèvement, le transport et l'entreposage des sédiments de référence et des sédiments de contrôle naturels devraient se faire conformément aux modes opératoires recommandés dans les § 3.4.2 et 3.4.3.

2.6 Prélèvement sur place de l'eau de porosité

L'eau de porosité peut être extraite des sédiments sur place ou en laboratoire. Ici, nous décrirons rapidement les diverses méthodes de prélèvement de cette eau sur place, tandis que nous décrirons dans le § 2.9.3 le mode opératoire de son extraction des échantillons de sédiment.

Les sédiments lacustres fins de surface renferment ordinairement de 90 à 95 % d'eau (Adams, 1991). Une partie de cette eau est liée aux réseaux cristallins de minéraux présents dans les sédiments, mais la plus grande partie ne fait qu'occuper les interstices entre les particules sédimentaires. L'association intime de cette eau, dite de porosité ou interstitielle, avec les particules à la surface des sédiments aboutit à des réactions qui tendent vers l'équilibre. Le partage des contaminants entre les particules sédimentaires et la phase aqueuse dépend dans une grande mesure de la quantité de carbone organique, de la granulométrie des sédiments, de la forme chimique des contaminants et des propriétés physicochimiques du milieu (p. ex., pH, température, potentiel d'oxydoréduction, capacité de sorption et de désorption des

sédiments ou équilibre entre les phases solide et liquide). On ne connaît pas très bien la dynamique de ces processus (Geisy et Hoke, 1990); toutefois, on pense généralement que les concentrations de la plupart des substances dans l'eau de porosité tendent vers l'équilibre avec leurs concentrations dans la phase solide. C'est pourquoi on prélève de l'eau de porosité en vue d'essai de toxicité, pour se faire une idée de la toxicité relative des sédiments contaminés ou pour évaluer les concentrations de contaminants. Pour les analyses géochimiques, il suffit d'un peu de cette eau; il est cependant difficile d'en prélever suffisamment sur place pour les essais de toxicité. La plupart des évaluations de cette nature ont donc été effectuées, jusqu'à ce jour, avec de l'eau extraite des sédiments par compression, centrifugation ou aspiration (*cf.* § 2.9.3).

L'échantillonnage sur place de l'eau de porosité s'effectue selon diverses méthodes (Barnes, 1973; Sayles *et al.*, 1973, 1976; Hesselin, 1976; Mayer, 1976; Murray et Grundmanis, 1980; Brinkman *et al.*, 1982; Whitar, 1982; Bottomley et Bayly, 1984; Howes *et al.*, 1985; Jahnke, 1988; Belzile *et al.*, 1989; Buddensiek *et al.*, 1990; Carignan et Lean, 1991). Les études comparatives ne sont pas assez nombreuses pour que l'on puisse recommander une méthode plus qu'une autre. La plupart des échantillonneurs d'eau de porosité ont été conçus pour prélever l'eau près de l'interface sédiment-eau, soit par diffusion au travers d'une membrane enserrée entre deux plaques d'acrylique (p. ex., dialyseur ou "peeper"), soit par aspiration et par filtration. Ces méthodes permettent d'observer au constat que la séparation de l'eau de porosité des sédiments en laboratoire ne donne pas toujours des résultats représentatifs de la nature ou des propriétés

chimiques de l'eau (Manheim, 1976; Kriukov et Manheim, 1982; Howes *et al.*, 1985; Adams, 1991). Ces anomalies (p. ex., artefacts) proviennent principalement de modifications touchant la température (Bischoff *et al.*, 1970) et la pression (p. ex., dégazage du CO₂) (Simon *et al.*, 1985), ainsi que de l'exposition de la phase liquide et de la phase particulaire des sédiments à l'oxygène (Bray *et al.*, 1973; Sayles *et al.*, 1973; Hesselin, 1976; Mayer, 1976; Lyons *et al.*, 1979; Lee et Jones, 1984).

Les diverses méthodes de prélèvement sur place de l'eau de porosité ainsi que leurs caractéristiques et leurs limites respectives sont présentées sommairement au tableau 6. Pour de plus amples détails, il faut consulter l'annexe D et les sources citées. Il importe de savoir que toutes les techniques utilisent un filtre, une membrane ou une matière plastique quelconque, de sorte que la sorption des contaminants organiques risque de constituer un problème grave. En outre, on n'obtient généralement que de petits volumes d'eau de porosité, de sorte que l'analyse chimique des contaminants organiques et les essais biologiques pourraient faire problème. Enfin, dans les techniques fondées sur la dialyse, les contaminants organiques peuvent ne pas approcher de l'équilibre en raison des limites de la diffusion dans les sédiments et de la forte capacité des membranes de les absorber.

2.7 Manutention des échantillons

Recommandations

- Tous les échantillons doivent être manutentionnés conformément au programme d'assurance et de contrôle de la qualité et aux objectifs de qualité des données.

Tableau 6 Sommaire des diverses méthodes de prélèvement sur place de l'eau de porosité

Méthode de Prélèvement	Avantages	Inconvénients	Références
Seringues à longue aiguille	-système fermé, qui réduit au minimum la possibilité de contamination	· méthode limitée aux eaux peu profondes (p. ex., <10 m); à une profondeur donnée, on peut prélever de petits volumes (5–10 mL)	Bauer <i>et al.</i> , 1988 Brinkman <i>et al.</i> , 1982
Seringues modifiées	· absence de contamination par l'eau sus-jacente	· <350 µL sont effectivement prélevés	Knezovich et Harrison, 1987
Système de sonde	· échantillonnage répété à des profondeurs précis (jusqu'à 35 cm; par pas de 1 cm); faible coût, construction facile; unité stable, que l'on pourrait faire fonctionner tout au long de l'année	· exige une période de deux semaines pour la stabilisation des sédiments; problèmes possibles de mélange entre horizons contigus; exige un réglage du zéro en raison du relief variable des sédiments	Buddensiek <i>et al.</i> , 1990
Filtration sous pression d'eau ou sous vide	· système fermé réduisant au minimum le risque de contamination; peut être utilisé dans les eaux peu profondes (<10 m) ou profondes (20–1800 m); grâce à l'emploi d'un gaz inerte, on maintient l'absence d'oxygène et on réduit au minimum le risque d'artefacts; peut être utilisé dans les estuaires, les cours d'eau, les lacs et les marais, les eaux marines profondes ou les eaux peu profondes de la zone infralittorale	· même si les volumes étaient légèrement plus gros (de 50 à 75 mL), la profondeur du prélèvement est incertaine (résolution en profondeur limitée)	Montgomery <i>et al.</i> , 1979; 1981 Hertkorn-Obst <i>et al.</i> , 1982 Howes <i>et al.</i> , 1985 Sayles <i>et al.</i> , 1976 van der Loeff, 1980
Dialyseurs	· l'utilisation de certaines membranes peut permettre une certaine sélectivité à l'égard des solutés; méthode relativement à l'abri des artefacts dus à la température, à la pression et à l'oxydation; construction et fonctionnement simples et moins coûteux que ceux de la plupart des autres méthodes	· les membranes de cellulose sont susceptibles d'être attaquées par les microbes; l'équilibre et le circuit doivent être désoxygénés à l'azote; il faut une enceinte d'équilibrage; le temps d'équilibrage doit être déterminé expérimentalement, parce qu'il est variable et peut être long; l'eau interstitielle transférée sans précaution du dialyseur peut s'oxyder; développement d'un potentiel électrique au travers de la membrane	Adams, 1991 Martens et Klump, 1980 Hesslein, 1976 Kelly <i>et al.</i> , 1984 Carignan et Tessier, 1985 Tessier <i>et al.</i> , 1989 Simon <i>et al.</i> , 1985 Carignan, 1984

- Dans les cas des échantillons judiciaires, il faut se conformer à la bonne marche à suivre (*cf.* § 2.8.3) et établir la chaîne de possession (annexe H).
- Comme le sédiment pourrait renfermer un mélange de substances dangereuses, la prudence commande qu'on se protège au moyen de vêtements et de matériel de protection (p. ex., gants, bottes, blouse ou tablier de laboratoire, lunettes de protection et respirateur) durant l'échantillonnage, la manutention de l'échantillon et la préparation des prises d'essai.
- Les échantillons devraient être manutentionnés dans un endroit bien aéré (p. ex., à l'extérieur, sous une hotte ou dans une boîte à gants), pour réduire au minimum l'inhalation des gaz que renferment les sédiments.
- Les plans de travail devraient être recouverts de feuilles de Teflon®, de plateaux de polyéthylène haute densité ou d'autres matériaux imperméables ou jetables, tout aussi inertes.
- Un protocole d'intervention contre les déversements devrait être établi dans les laboratoire ou sur le bateau d'échantillonnage, et les participants au projet devraient bien connaître toutes les recommandations et les modes opératoires normalisés.
- L'élimination de tous les déchets dangereux devrait se faire conformément aux règlements, aux lignes directrices ou aux arrêtés municipaux en vigueur.

2.7.1 Carottes

Recommandations

- Les tubes ou les gaines renfermant les carottes doivent être bouchés hermétiquement et ne pas contenir d'air, ils être maintenus en position verticale, bien étiquetés et placé dans une glacière isolée pour le transport. Si le sédiment a été extrait à 10 m ou plus de profondeur et qu'il présente une forte teneur en matières organiques ainsi que de fortes concentrations de méthane et de dioxyde de carbone, il peut être nécessaire d'en séparer l'eau sus-jacente dans la minute qui suit la récupération, afin de réduire au minimum la perturbation de la carotte par la formation de bulles.
- Le sous-échantillonnage, s'il est nécessaire, devrait avoir lieu, par extrusion, dans les 24 heures qui suivent le prélèvement et il devrait se limiter aux parties de l'échantillon qui ne sont pas entrées en contact direct avec l'échantillonneur.
- Les échantillons de carottiers à boîte devraient être sous-échantillonnés avec des outils propres et non réactifs (p. ex., petite pelle ou carottier à main à revêtement de Teflon®) dans les 5 cm supérieurs et, pour les horizons inférieurs, au moyen d'un carottier à main; le sous-échantillonnage devrait se limiter au sédiment qui n'est pas entré directement en contact avec le carottier.
- S'il faut obtenir des échantillons ou des sous-échantillons composés, on peut les préparer sur place ou au laboratoire. Avant d'analyser un échantillon ou un sous-échantillon composé ou de l'utiliser pour un essai, il faut l'homogénéiser dans

un mélangeur mécanique ou à la main, jusqu'à l'obtention d'une couleur et d'une texture uniformes ou pendant une durée précise qui aura été déterminée expérimentalement.

- Si le maintien d'un milieu sans oxygène est prévu dans le plan de l'étude pour la manutention du sédiment, il faudrait manutentionner le sédiment exempt d'oxygène dans une boîte à gants, en présence d'un gaz inerte.

Si le sédiment se présente sous la forme de carottes qu'il faut transporter directement au laboratoire, telles quelles, on devrait procéder comme suit et prendre les précautions suivantes :

- Les gaines des carottes devraient être fermées par un couvercle ou un bouchon et scellées immédiatement après leur récupération pour empêcher la perte de sédiment.
- On devrait enregistrer dans les notes de terrain les résultats de l'examen de la carotte intacte, y compris sa longueur, l'épaisseur des divers horizons de sédiments, sa couleur, sa consistance (p. ex., compacte, meuble, consolidée, non consolidée), sa texture (p. ex., gravier, sable, limon, argile) ainsi que la présence de coquillages, de matière organique, de végétation, d'organismes, d'huile ou d'une odeur remarquable (p. ex., soufre, chlore, eaux d'égout, pétrole). Comme l'odeur des sédiments contaminés peut se révéler dangereuse, on devrait prendre soin d'éviter de la respirer directement.
- Les carottes intactes (contenues dans des gaines) devraient être maintenues en position verticale (p. ex., sur un râtelier à cette fin). On devrait y apposer des étiquette portant les renseignements voulus

afin d'assurer l'identification exacte des échantillons (emplacement de la station d'échantillonnage, numéro ou identification de l'échantillon, heure et date du prélèvement, méthode de prélèvement, nom ou initiales de la personne qui a fait le prélèvement).

- On devrait exclure l'air des gaines et réduire au minimum le volume de l'eau sus-jacente pour réduire le risque de remise en suspension des sédiments de surface au cours du transport. On devrait particulièrement veiller à conserver le floc superficiel de la carotte. Les tubes renfermant les carottes devraient être placés dans un récipient de transport (p. ex., boîte ou glacière isolée) avec des sacs réfrigérants ou dans une unité réfrigérée où l'on peut maintenir une température idéale de $4 \pm 2^\circ \text{C}$ et la surveiller continuellement au cours du transport.
- Le programme d'assurance et de contrôle de la qualité devrait comporter un essai à blanc au moyen d'un récipient témoin qui aura subi le même traitement que les autres échantillons au cours du transport.

Si le récipient de transport est trop petit pour les grandes carottes (gainés de plus de 1 m), on peut découper ces dernières en longueurs de 1 m, en bouchant bien les extrémités tout en veillant à ne pas laisser subsister d'air à l'intérieur. Il doit être établi que la méthode et les outils de découpage perturbent le moins possible l'intégrité des sédiments de chaque longueur, ne les contaminent pas et n'y provoquent pas de solution de continuité. Il existe diverses méthodes de sectionnement des carottes (Mudie *et al.*, 1984; *cf.* Mudroch et MacKnight, 1991, pour une synthèse). Il n'est pas recommandé de congeler la carotte avant de l'expédier ou de la sectionner parce que le

gel modifie le volume du sédiment, qui varie selon sa teneur en eau, et qu'il en change pour de bon la structure (de Groot et Zschuppe, 1981; Rutledge et Fleeger, 1988; Mudroch et MacKnight, 1990).

L'imprégnation des carottes non consolidées à l'aide de résines d'époxy ou de polyester préservera la structure et la texture du sédiment (Ginsburg *et al.*, 1966; Crevello *et al.*, 1981) mais non ses caractéristiques chimiques, de sorte que ce moyen n'est pas recommandé pour les échantillons destinés à la caractérisation chimique ou aux essais biologiques.

Sous-échantillonnage ou obtention

d'échantillons composés de carottes. La décision de sous-échantillonner (c'est-à-dire, de sectionner) les carottes de sédiment de la même station ou d'en tirer des échantillons composés dépend de l'objet de l'étude, de la nature et de l'hétérogénéité des sédiments, du volume de sédiment nécessaire à l'évaluation de la toxicité ou aux analyses, du degré acceptable de résolution statistique et de l'analyse coûts-avantages de la non-exécution de ces opérations.

Le sectionnement d'une carotte vise généralement à faire porter l'évaluation sur un ou des horizons sédimentaires donnés. La plupart des études de surveillance et d'évaluation des sédiments contaminés de surface (c'est-à-dire, les 10 à 15 cm supérieurs) portent sur la répartition horizontale des dépôts récents de contaminants ou sur les effets de ces derniers. Toutefois, d'autres études d'évaluation et de surveillance peuvent exiger des prélèvements plus profonds afin d'évaluer l'historique des changements (c'est-à-dire, les zones de contamination, les vitesses de sédimentation et les différences géochimiques en fonction de la profondeur des sédiments).

Le découpage de la carotte devrait se faire le plus tôt possible (c'est-à-dire, dans les 24 heures qui suivent sa récupération), sur le terrain, si l'on dispose des installations, de l'espace et de l'équipement voulus, ou encore au laboratoire, après le transport.

On mis au point diverses méthodes pour découper, sectionner, séparer ou sous-échantillonner les sédiments. Elles ont évolué graduellement en fonction d'objectifs d'études, de types de sédiments et de milieux aquatiques différents. La plus répandue consiste à obtenir, par extrusion par un piston ou sous pression, des aliquotes mesurées de sédiment (p. ex., de 1 ou 2 cm de longueur) que l'on sectionne au moyen d'une lame de métal, de nylon ou de Teflon®, après avoir siphonné et éliminé l'eau sus-jacente. L'extrusion devrait permettre de ne sous-échantillonner que l'intérieur de la carotte et d'exclure la périphérie (c'est-à-dire, la partie qui entre directement en contact avec la gaine). La couche de surface (p. ex., les 2 à 5 cm supérieurs) peut être mieux sous-échantillonnée à l'aide de petites pelles à fond plat ou de seringues de grand diamètre (p. ex., pipettes modifiées) faites d'un matériau inerte. Chaque sous-échantillon devrait être déposé dans un récipient étiqueté, propre et inerte (§ 2.8). La capacité du récipient devrait se rapprocher le plus possible du volume de l'échantillon, afin de réduire au minimum l'espace libre. Idéalement, tout l'oxygène du récipient devrait être purgé ou remplacé par un gaz inerte (p. ex., azote ou argon). Même si, le plus souvent, on augmente la profondeur sous-échantillonnée par pas de 2 cm, il n'est pas rare d'observer des pas de 5 à 10 cm. Les intervalles de sectionnement des carottes peuvent être variables et dépendre des objectifs de l'étude, de la nature du substrat, des vitesses locales de dépôt et du type de milieu d'où provient la carotte. Si

l'on souhaite maintenir l'absence d'oxygène durant le sous-échantillonnage, il faut que toutes les manipulations et préparations aient lieu dans une boîte à gants ou dans un sac rempli d'un gaz inerte et possédant une ouverture adaptée à la gaine de la carotte (Mudroch et MacKnight, 1991).

On peut sous-échantillonner les échantillons de carottiers à boîte à l'aide d'un petit carottier à main, après en avoir soigneusement siphonné et rejeté l'eau sus-jacente. Si des sédiments sont en suspension dans l'eau sus-jacente (ce qu'indique la turbidité de cette dernière), on devrait les laisser se déposer avant de procéder au sous-échantillonnage. Les carottiers à main d'un diamètre intérieur de moins de 3 cm tendent à compacter les sédiments, de sorte qu'il faut les utiliser avec précaution. On se sert également de pelles pour sous-échantillonner des sédiments de surface prélevés au moyen d'un carottier à boîte.

S'il faut obtenir des échantillons composés à partir de sous-échantillons de carottes afin de satisfaire aux objectifs de l'étude (cf. § 2.3.6), la qualité de la carotte doit être acceptable et on ne devrait réunir que les couches de sédiments possédant une stratigraphie semblable. Dans certains cas, il pourrait être souhaitable d'obtenir des échantillons composés de sections de carottes correspondant à des profondeurs croissantes; toutefois, il est recommandé de ne réunir que les horizons possédant un profil stratigraphique semblable. Avant d'en prélever la prise d'essai, on devrait homogénéiser l'échantillon composé au mélangeur mécanique ou à la main jusqu'à ce que sa couleur et sa texture soient uniformes ou pendant une durée précise qui aura été définie expérimentalement. Si les sédiments ne renferment pas d'oxygène, l'homogénéisation devrait être effectuée

sous une atmosphère sans oxygène, afin de réduire au minimum les réactions d'oxydation au cours des manipulations et de l'entreposage.

2.7.2 *Prélèvements par benne*

S'il faut transporter intact au laboratoire l'échantillon de sédiment prélevé par une benne, on le dépose soigneusement, mais directement, dans un récipient étiqueté de même forme que l'échantillonneur et construit d'un matériau inerte (§ 2.8). Le récipient à échantillon doit être suffisamment grand pour recevoir ce dernier et il devrait être fermé hermétiquement, après exclusion de tout l'air.

Sous-échantillonnage ou obtention d'échantillons composés d'échantillons prélevés par benne. Si l'échantillon doit être sous-échantillonné, le moyen utilisé doit permettre d'accéder à la surface de l'échantillon sans perte d'eau ni de sédiment fin. Il faut doucement siphonner l'eau sus-jacente non trouble, s'il y a, avant de procéder au sous-échantillonnage du sédiment à l'aide d'une pelle plate et propre (p. ex., en matériau non contaminant, inerte et non réactif comme le Teflon® ou d'un carottier à main adéquat). On devrait prélever le sédiment jusqu'à la profondeur de 5 cm; toutefois, le sous-échantillonnage pourrait aller plus en profondeur, selon la taille de l'échantillonneur et les objectifs de l'étude. Il est courant de sous-échantillonner les 2 cm supérieurs lorsqu'on veut étudier les dépôts sédimentaires les plus récents; la profondeur dépend des objectifs de l'étude. Idéalement, on devrait déposer chaque sous-échantillon dans un récipient distinct, propres, étiqueté au préalable et fait d'un matériau non contaminant (§ 2.8). Le récipient doit être fermé hermétiquement après qu'on en a chassé l'air.

Si l'échantillonneur ne permet pas de prélèvements en surface, on devrait se conformer aux étapes suivantes. Après avoir récupéré l'échantillonneur, on doit soigneusement en déposer le contenu dans un récipient propre, en matériau inerte, de la même forme que l'échantillonneur. On place celui-ci dans le récipient et on en écarte lentement les mâchoires pour que l'échantillon passe dans le récipient le plus doucement possible. Cela fait, on peut en prélever des sous-échantillons à l'aide d'un carottier à main ou d'une petite pelle. On ne devrait pas sous-échantillonner les bords de l'échantillon, dont les sédiments peuvent avoir été perturbés durant le passage de l'échantillonneur au récipient.

Il est difficile de sous-échantillonner le contenu d'une benne en l'absence d'oxygène. C'est pourquoi on préconise l'usage de carottiers lorsque cette condition est prioritaire, c'est-à-dire lorsque l'on veut étudier les formes chimiques de métaux traces ou de constituants volatils (p. ex., les sulfures acides volatils). Néanmoins, il est possible, bien que peu pratique, de sous-échantillonner le contenu d'une benne en l'absence d'oxygène en utilisant une boîte à gants ou un sac rempli d'un volume constant et contrôlé d'un gaz inerte, modifié de façon à recevoir un échantillon non perturbé qui a été déposé dans un récipient. Il est beaucoup plus pratique sous-échantillonner un prélèvement par benne à l'aide d'un carottier à main. On dépose la carotte dans une boîte à gants ou un sac et on la dégage par extrusion à l'abri de l'oxygène. Si l'on excepte les couches superficielles (jusqu'à 5 cm), les sédiments sont généralement exempts d'oxygène et ils s'oxydent rapidement dès qu'on les expose à l'air.

Les échantillonneurs faits de métal nu peuvent modifier la concentration d'éléments traces ou majeurs dans les

échantillons de sédiment. On devrait donc éviter d'y avoir recours lorsque les sédiments sont potentiellement contaminés par des métaux. Les échantillonneurs ne devraient pas être faits de cuivre, de zinc, de laiton ou d'un métal galvanisé; de même, on devrait éviter le plastique lorsqu'on soupçonne une contamination par des matières organiques. Si l'on n'a pas d'autre choix, alors, au moment du sous-échantillonnage, on doit exclure la partie du sédiment qui est entrée directement en contact avec les parois de l'échantillonneur. Le sous-échantillon doit être déposé dans un récipient propre, en matériau inerte, qui ne le contaminera pas et n'en modifiera pas les caractéristiques. Le récipient devrait être bouché hermétiquement, après que l'air en aura été chassé.

Si l'objet de l'étude exige l'obtention d'un échantillon composé de sous-échantillons de différents prélèvements par benne dans la même station, on peut déposer les sous-échantillons dans un récipient propre, et, quand, ce dernier est plein, le fermer hermétiquement après en avoir chassé l'air. On peut également préparer en laboratoire des échantillons composés d'échantillons ou de sous-échantillons de sédiment.

2.8 Transport et entreposage des prélèvements de sédiments et d'eau de porosité

Les prélèvements par benne sont habituellement transvasés dans des récipients qui peuvent ou non servir à leur entreposage. Les récipients peuvent soit être entreposés de façon temporaire sur le terrain avant d'être transportés et entreposés au laboratoire, soit être transportés immédiatement au laboratoire pour y être entreposés. Si les carottes ne sont pas sectionnées ou sous-échantillonnées sur le terrain, elles peuvent être gardées

temporairement sur place avant d'être transportées intactes, dans leur gaine, directement au laboratoire. Si le sectionnement ou le sous-échantillonnage a lieu sur le terrain, on peut aussi déposer les sous-échantillons ou les sections dans des récipients à échantillon et les entreposer de façon temporaire. Les récipients à échantillon renfermant les prélèvements de sédiment sont ensuite mis dans un conteneur de transport et expédiés au laboratoire. L'eau de porosité prélevée sur place doit être transvasée en l'absence d'oxygène (p. ex., dans une boîte à gants), directement dans un récipient d'entreposage propre, fermé hermétiquement et renfermant un gaz inerte. Ces récipients, congelés ou refroidis à $4 \pm 2^\circ \text{C}$, sont envoyés au laboratoire le plus tôt possible. L'eau de porosité servant aux essais biologiques ne devrait pas être congelée durant le transport ou l'entreposage temporaire sur le terrain.

Dans les paragraphes qui suivent, nous décrivons les méthodes et les conditions d'entreposage temporaire des prélèvements sur le terrain. Les documents attestant la chaîne de possession (annexe H) doivent accompagner tous les échantillons judiciaires, afin de prouver que la continuité n'a jamais été interrompue entre le prélèvement et l'analyse.

2.8.1 Récipients et conditions d'entreposage

Les recommandations concernant les types de récipients et les conditions d'entreposage (qui dépendent habituellement de l'analyse à effectuer) sont résumées dans le tableau 7 pour les échantillons de sédiment et d'eau de porosité. Pour plus de renseignements, on consultera l'annexe E.

On peut transvaser directement un échantillon de sédiment entier d'une benne dans un récipient propre, volumineux (p. ex.,

>1 L) et préalablement traité, fait de polyéthylène haute densité ou de Teflon®. Ces matériaux sont relativement inertes et conviennent le mieux aux échantillons contaminés par un mélange de matières organiques et inorganiques. Si l'on prélève ou sous-échantillonne de plus petits volumes de sédiment (de 250 à 1000 mL), il est recommandé d'utiliser des bocaux propres à large ouverture de polyéthylène haute densité, de verre borosilicaté ou de Teflon®, munis de couvercles garnis de Teflon®. Si l'on sait que les contaminants à étudier sont organiques, il est recommandé d'utiliser des bouteilles de verre ambré à large ouverture (de 250 à 1000 mL). Toutefois, les récipients de verre sont fragiles, ils sont plus lourds et ils sont généralement plus encombrants que les autres. Lorsque les contaminants à étudier sont connus, on cherchera dans le tableau 7 des précisions sur le type de récipient à utiliser et sur les durées d'entreposage. L'eau de porosité devrait être injectée directement des seringues de prélèvements dans des bouteilles propres et prétraitées de verre ambré ou dans des fioles (de 10 à 40 mL) à disque-cloison garni de Teflon®.

Tous les récipients à échantillon devraient être traités avant qu'on y dépose les prélèvements (EC, 1983 et 1989). Le verre neuf et la plupart des plastiques doivent être préalablement traités pour les débarrasser des résidus et des composés lixiviables et pour réduire au minimum les éventuels sites d'adsorption. Le prétraitement comprend les activités décrites dans le tableau 8. Par exemple, des rinçages au moyen d'un solvant organique supprimeront la plupart des composés organiques adsorbés. Ces rinçages se sont révélés aussi efficaces que la calcination à 350°C pour l'élimination des composés organiques (EC, 1989). Un bain acide lixiviera les métaux traces (p. ex., Cu, Fe, Mo, Ni, Zn) des plastiques. Un

Tableau 7 Types de récipients et conditions recommandés pour l'entreposage des échantillons de sédiment ou d'eau de porosité

Utilisation finale	Type de récipient	Masse à l'état humide ou volume d'échantillon	Conditions d'entreposage	
			Température	Durée de conservation
SÉDIMENT				
Répartition granulométrique	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • verre • récipients ou sacs de polyéthylène haute densité 	250 g	4–40° C ne pas congeler	≤ 6 mois
Principaux ions et éléments: Al, C, Ca, Cl, Cr, Fe, Fl, H, K, Mn, Mg, Na, P, S, Si, Ti, (oxydes et totaux)	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • récipients ou sacs de polyéthylène haute densité 	250 g	4 ± 2° C	≤ 2 sem.
Éléments nutritifs: azote ammoniacal, azote nitreux, azote nitrique, azote Kjeldahl total, carbone total, carbone organique total	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • verre avec bouchon garni de Teflon® ou de polyéthylène 	100 g	4 ± 2° C	≤ 48 h
Éléments traces : Ag, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, Va, Zn	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • récipients ou sacs de polyéthylène haute densité 	250–500 g	4 ± 2° C ou -20° C	≤ 2 sem. ≤ 6 mois
Contaminants organiques	<ul style="list-style-type: none"> • contenants d'acier inoxydable • contenants d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium 	250–500 g	4 ± 2° C ou -20° C	≤ 2 sem. ≤ 6 mois
Sédiments destinés à des essais de toxicité et potentiellement contaminés par des métaux	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • verre • sacs ou récipients de polyéthylène haute densité 	1–3 L	4 ± 2° C	≤ 6 sem. de préférence ≤ 2 sem.
Sédiments destinés à des essais de toxicité et potentiellement contaminés par des matières organiques	<ul style="list-style-type: none"> • verre, avec bouchon garni de polyéthylène ou d'aluminium • Teflon® • acier inoxydable • sacs ou récipients de polyéthylène haute densité 	1–3 L	4 ± 2° C	≤ 6 sem. de préférence ≤ 2 sem.
Sédiments de contrôle et de référence les essais de toxicité	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • verre • sacs ou récipients de polyéthylène haute densité 	>15 L	4 ± 2° C	≤ 12 mois ¹

Tableau 7 Types de récipients et conditions recommandés pour l'entreposage des échantillons de sédiment ou d'eau de porosité (*suite*)

Utilisation finale	Type de récipient	Masse à l'état humide ou volume d'échantillon	Conditions d'entreposage	
			Température	Durée de conservation
EAU DE POROSITÉ				
Principaux ions et éléments: Ca, Mg, Cl Si, Fl, Na, SO ₄ , K, Al, Fe, acidité, alcalinité	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® • récipients de polyéthylène haute densité 	40 mL	- 20° C	≤ 6 sem.
Éléments nutritifs dans l'eau de porosité : azote ammoniacal, azote nitreux, azote nitrique, carbone organique total, phosphore réactif soluble, carbone inorganique dissous, carbone organique dissous	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	40 mL	- 20° C	≤ 6 mois
P (total)	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	40 mL	- 20° C ou 4 ± 2° C avec 1 mL de H ₂ SO ₄ à 30 % par 100 mL	≤ 6 sem. ≤ 2 sem.
Éléments traces (totaux) dans l'eau de porosité : Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Co, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, Va, Zn	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • polyethylene 	10–250 mL	- 20° C ou 4 ± 2° C avec 2 mL de HNO ₃ 1 M par 1000 mL d'eau de porosité	≤ 6 mois ≤ 6 sem.
Ag	<ul style="list-style-type: none"> • polyéthylène ambré 	250 mL	4 ± 2° C avec 1 g Na ₂ -EDTA par 250 mL d'eau de porosité	≤ 6 sem.
Hg	<ul style="list-style-type: none"> • Teflon® • verre (Soviral/Wheaton) 	100 mL	4 ± 2° C avec 1 mL H ₂ SO ₄ par 100 mL d'eau de porosité	≤ 6 sem.
Contaminants organiques dans l'eau de porosité² :	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	1000 mL	- 20° C ou 4 ± 2° C, acidifié avec du H ₂ SO ₄ ou additionné de 10 g Na ₂ SO ₄ par litre d'eau de porosité	≤ 6 mois ≤ 6 sem.

Tableau 7 Types de récipients et conditions recommandés pour l'entreposage des échantillons de sédiment ou d'eau de porosité (suite)

Utilisation finale	Type de récipient	Masse à l'état humide ou volume d'échantillon	Conditions d'entreposage	
			Température	Durée de conservation
Organochlorés et BPC	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	1000 mL	- 20° C ou 4 ± 2° C	≤ 6 mois ≤ 6 sem.
Organophosphorés	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	1000 mL	- 20° C ou 4 ± 2° C, acidifié avec du HCl jusqu'à un pH de 4,4	≤ 6 mois ≤ 6 sem.
PCP	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	1000 mL	-20° C or 4 ± 2° C, acidifié avec du H ₂ SO ₄ jusqu'à un pH de <4 ou conservé avec 0,5 g de CuSO ₄ par litre d'eau de porosité	≤ 6 mois ≤ 6 sem.
Herbicides du type phénoxy	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	1000 mL	-20° C ou 4 ± 2° C, acidifié jusqu'à un pH <2 avec du H ₂ SO ₄	≤ 6 mois ≤ 6 sem.
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	<ul style="list-style-type: none"> • verre ambré avec bouchon garni d'aluminium • verre ambré avec bouchon garni de Teflon® 	1000 mL	-20° C ou 4 ± 2° C	≤ 6 mois ≤ 6 sem.
Eau de porosité ³ ou éluat pour les essais de toxicité	• verre ambré avec bouchon garni de Teflon®	1-3 L	4 ± 2° C	≤ 72 h

¹ Ces sédiments devraient être surveillés au cours de cette période pour s'assurer qu'ils demeurent acceptables malgré l'évolution éventuelle de leurs caractéristiques physicochimiques.

² Il est très difficile de prélever suffisamment d'eau de porosité pour les analyses des composés organiques volatils et aromatiques.

³ Il est très difficile de prélever suffisamment d'eau de porosité pour les essais de toxicité ordinaires; toutefois, des quantités moindres suffiront si le plan expérimental permet l'extraction d'échantillons successifs de sédiment ou l'obtention d'échantillons composés à partir d'échantillons répétés d'une même station. On devrait se rappeler que dès que de l'eau de porosité prélevée sur place est exposée à l'oxygène (p. ex., à l'air), ses propriétés géochimiques sont modifiées (Mudroch, 1992).

Tableau 8 Recommandations pour le traitement préalable des récipients destinés à recevoir les échantillons de sédiment ou d'eau de porosité

ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENT

Contaminants inorganiques

- récurer au savon sans phosphate et à l'eau chaude
- rincer au jet d'eau chaude sous forte pression
- faire tremper 72 heures dans un bain acide de HNO_3 8 M (50 mL de HNO_3 par litre)
- rincer quatre fois à l'eau chaude
- rincer trois fois à l'eau distillée et désionisée
- laver les bouchons de Teflon® ou garnis de Teflon® des bouteilles au savon et à l'eau chaude, puis rincer à l'eau distillée et désionisée

Contaminants organiques

- récurer au savon sans phosphate et à l'eau chaude
- rincer au jet d'eau chaude sous forte pression
- faire tremper 72 heures dans un bain acide de HNO_3 8 M (50 mL de HNO_3 par litre)
- rincer quatre fois à l'eau chaude du robinet
- rincer trois fois à l'eau distillée et désionisée
- rincer deux fois à l'acétone¹ (de pureté convenant à l'analyse des pesticides)
- rincer deux fois à l'éther de pétrole¹
- faire évaporer les solvants sous une hotte¹
- rincer les feuilles d'aluminium (ou les garnitures de Teflon®) deux fois à l'acétone et deux fois à l'éther de pétrole, puis laisser sécher sous la hotte
- laver des bouteilles au savon et à l'eau chaude, puis les rincer à l'eau distillée et désionisée
- découper les garnitures d'aluminium (ou de Teflon®) avec des ciseaux lavés à l'acétone
- insérer une feuille d'aluminium (ou une garniture de Teflon®) propre entre le bouchon et la bouteille

ÉCHANTILLONS D'EAU DE POROSITÉ

Contaminants inorganiques et métaux traces

- récurer les bouchons et les bouteilles à l'eau chaude, au savon sans phosphate et à la brosse
- rincer deux fois à l'eau chaude
- rincer trois fois à l'eau distillée et désionisée
- faire tremper 72 heures dans un bain acide de HNO_3 8 M (50 mL de HNO_3 par litre)
- rincer trois fois à l'eau distillée et désionisée

Contaminants organiques non volatils

- récurer au savon sans phosphate et à l'eau chaude
- rincer au jet d'eau chaude sous forte pression
- rincer trois fois à l'eau distillée et désionisée
- rincer deux fois à l'acétone¹ (de pureté convenant à l'analyse des pesticides)
- rincer deux fois à l'éther de pétrole¹
- faire évaporer les solvants sous une hotte¹
- rincer les feuilles d'aluminium (ou les garnitures de Teflon®) deux fois à l'acétone et deux fois à l'éther de pétrole, puis laisser sécher sous la hotte
- laver des bouteilles au savon et à l'eau chaude, puis les rincer à l'eau distillée et désionisée
- découper les garnitures d'aluminium (ou de Teflon®) avec des ciseaux lavés à l'acétone
- insérer une feuille d'aluminium (ou une garniture de Teflon®) propre entre le bouchon et la bouteille

Tableau 8 **Recommandations pour le traitement préalable des récipients destinés à recevoir les échantillons de sédiment ou d'eau de porosité (suite)**

Contaminants organiques volatils

- récurer au savon dans phosphate et à l'eau chaude
 - rincer au jet d'eau chaude sous forte pression
 - rincer trois fois à l'eau distillée et désionisée
 - rincer deux fois à l'acétone¹ (de pureté convenant à l'analyse des pesticides)
 - rincer deux fois à l'hexane¹ (de pureté convenant à l'analyse des pesticides)
 - faire évaporer les solvants sous une hotte¹
 - laver les disques-cloisons granis de Teflon® à l'eau savonneuse
 - rincer à fond à l'eau chaude
 - rincer quatre ou cinq fois à l'eau distillée et désionisée
 - remplacer les disques-cloisons nettoyés après chaque utilisation
 - s'assurer que le côté garni de Teflon® (blanc) de chaque disque-cloison est bien au dessous
-

Source : d'après EC, 1989

¹ On peut aussi porter les bouteilles et les bouchons résistant à la chaleur à 350° C dans un four pour calciner les résidus de solvant organique.

triple rinçage à l'eau distillée est nécessaire parce que, sur les polymères, le traitement à l'acide peut activer des sites d'adsorption qui sont ensuite capables de lier les métaux traces des prélèvements.

Idéalement, si l'on veut garder les échantillons à 4° C, il faut remplir les récipients jusqu'au bord et en expulser l'air au cours de la fermeture. Si les échantillons doivent être congelés pendant l'entreposage, il ne faudrait pas remplir complètement les récipients de verre, mais laisser libres environ 2,5 cm, en prévision de la dilatation de l'échantillon congelé. On devrait purger ce vide à l'azote avant de boucher le récipient hermétiquement. Les récipients de verre clair sont souvent revêtus d'une gaine extérieure opaque (p. ex., une feuille d'aluminium propre) pour les protéger de la lumière et réduire le risque de bris accidentel.

Chaque récipient à échantillon doit être bien étiqueté et maintenu en position verticale

dans le contenant dans lequel il sera transporté. L'étiquette doit porter au moins le nom ou l'identification de l'emplacement ou de la station, le type d'échantillon, la méthode de prélèvement, le nom de la personne qui a fait le prélèvement ainsi que la date et l'heure du prélèvement.

2.8.2 Entreposage des échantillons sur le terrain

Il existe trois façons d'entreposer temporairement les prélèvements avant de les envoyer au laboratoire. On peut les garder dans des unités réfrigérées à bord du bateau de prélèvement, on peut les déposer dans des récipients isolés renfermant de la glace ou des sacs réfrigérants, ou on peut les transporter immédiatement dans un dépôt local où ils peuvent être mis soit au congélateur, soit au réfrigérateur. Les conditions d'entreposage recommandées au tableau 7 s'appliquent également à l'entreposage temporaire. Toutefois, si les contraintes opérationnelles ne permettent pas d'y satisfaire, les méthodes et les

conditions d'entreposage temporaire qu'on adoptera devraient chercher à protéger le plus possible l'intégrité de l'échantillon (Mudroch et MacKnight, 1991). Si les échantillons doivent être congelés mais qu'on ne dispose pas d'un congélateur, il est recommandé d'employer de la glace sèche, pour autant que l'on connaisse bien l'efficacité de cette méthode ainsi que les règlements qui régissent le transport des échantillons ainsi conservés. Les échantillons de sédiments destinés aux essais de toxicité ne doivent pas être congelés.

Durant le transport vers le lieu d'entreposage temporaire ou vers le laboratoire, les échantillons congelés ne devraient pas dégeler, et la température des échantillons conservés au froid ne devrait pas dépasser 7° C ni tomber sous 1° C. Les échantillons judiciaires devraient être accompagnés des documents requis pour établir la chaîne de possession.

2.8.3 Conditions de transport et réglementation

Recommandations

- Les récipients de transport devraient être réfrigérés à $4 \pm 2^{\circ} \text{C}$ ou renfermer de la glace ou des sacs réfrigérants qui permettront de maintenir la température des échantillons sous 7° C durant le transport jusqu'au laboratoire.
- Si les échantillons prélevés sont chauds (p. ex., $>7^{\circ} \text{C}$), devrait les amener à une température de 1 à 7° C avec de la glace avant de les mettre dans le récipient de transport.
- Au cours du transport, les échantillons ne doivent pas geler.

- On devrait insérer un thermomètre à maxima et minima ou un thermographe dans les récipient, puis fermer hermétiquement celui-ci. On devrait signaler les écarts de température.
- La lumière ne devrait pas pénétrer dans le récipient de transport.
- Tous les échantillons qui exigent un traitement préalable avant d'être entreposés doivent être transportés au laboratoire dans les 72 heures, de préférence dans les 24 heures, qui suivent le prélèvement.

Outre ces renseignements, les contraintes suivantes s'appliquent à la manutention, à l'entreposage et au transport des échantillons judiciaires :

- Le mode de préparation des récipients à échantillon devrait être noté, de même que le nom de la personne qui en est chargée.
- Tous les récipients de transport doivent rester verrouillés au cours du trajet vers la station d'échantillonnage et au retour, et ils doivent toujours rester sous surveillance.
- La personne qui fait le prélèvement doit consigner et parapher des notes de terrain décrivant la manutention et le prélèvement de chaque échantillon ainsi que les données supplémentaires utiles (p. ex., emplacement et description de la station d'échantillonnage, température de l'eau, niveau ou débit de l'eau, conditions météorologiques, technique de prélèvement ou de manutention de l'échantillon, photographies, numéros d'identification, etc.).

- Le nom et la signature de la personne qui fait le prélèvement et d'un témoin doivent figurer sur chaque récipient à échantillon.
- L'étiquette devrait être fermement apposée sur le récipient après que l'échantillon y a été déposé et que le bouchon a été fermé hermétiquement.
- Pour ce qui concerne les échantillons judiciaires, il faut remplir les documents établissant la chaîne de possession et les documents du ministère des Transports, puis les joindre aux récipients de transport pour qu'ils accompagnent les échantillons.

Chaque récipient à échantillon doit être scellé par un ruban qui prouve qu'il n'a pas été ouvert au cours du transport, et le récipient de transport doit rester verrouillé durant le ramassage, le transport et la livraison.

- Une description de sa nature, de son origine et de sa destination finale prévue devrait accompagner l'échantillon durant l'expédition, et une copie séparée devrait être envoyée au laboratoire.
- Le récipient de transport devrait être bien étiqueté; il devrait notamment porter la description du contenu, sa destination, toutes les instructions spéciales requises pour sa manipulation de même que les numéros de téléphone à composer à l'arrivée ou en cas d'urgence.
- La documentation requise pour le transfert des échantillons judiciaires doit accompagner le récipient de transport, et la chaîne de possession du colis doit être consignée (c'est-à-dire, que chaque fois que le colis change de main, ce transfert de responsabilité doit être certifié par les

nom et signature des responsables.)

- On devrait ouvrir un dossier et y verser toute la documentation, notamment les bordereaux d'expédition et d'enregistrement signés, les lettres de voiture signées, ainsi que les photographies du récipient de transport au départ pour le laboratoire et à son arrivée.
- Au laboratoire, on doit prendre note de l'état des échantillons.
- Les échantillons doivent être gardés sous clé dans un local dont l'accès est restreint.
- Une description complète du mode opératoire et des résultats de l'analyse devrait être archivée et gardée sous la surveillance de l'agent chargé de l'assurance et du contrôle de la qualité.
- Tous les échantillons archivés doivent être entreposés convenablement dans des récipients scellés, gardés sous clé dans un local dont l'accès est restreint.

2.9 Manipulation des échantillons prélevés

L'un des principaux buts du prélèvement et de l'entreposage des échantillons de sédiment et d'eau de porosité est d'en maintenir l'intégrité jusqu'à ce que l'on évalue leurs caractéristiques chimiques ou leur toxicité. À cette fin, on cherche à prévenir le plus possible l'altération des propriétés physiques, chimiques et biologiques des échantillons et des sous-échantillons au cours du transport et de l'entreposage. Les méthodes d'évaluation exigent habituellement qu'on prépare des prises d'essai à partir de prélèvements conservés en entreposage. Toutes les manipulations et les méthodes de

préparation des prises d'essai sont susceptibles d'altérer les prélèvements. Les manipulations visent donc à préparer ou à traiter ces derniers de façon qu'ils restent aussi représentatifs que possible des sédiments de la station d'échantillonnage, en ce qui concerne leurs propriétés chimiques et leur toxicité, tout en faisant en sorte que la prise d'essai se prête mieux aux essais biologiques ou à la caractérisation (Nelson *et al.*, 1991 et 1992).

La préparation de la prise d'essai peut comporter des opérations physiques telles que le tamisage, le séchage, la lyophilisation, le concassage et le broyage ou des traitements chimiques tels que la dissolution, l'extraction, la digestion, le fractionnement, la synthèse de dérivés de certains contaminants organiques, le réglage du pH et l'addition de réactifs (Keith, 1992). Ces opérations, bien que nécessaires, sont également susceptibles d'entraîner des erreurs systématiques et de la variance ainsi que la contamination, l'altération chimique et la perte de sédiments. En conséquence, la préparation de la prise d'essai doit être prévue dans le plan de l'étude et être entièrement consignée, pour qu'on ait un aperçu complet de la transformation de l'échantillon de sédiment depuis son prélèvement sur le terrain jusqu'à l'obtention de la prise d'essai. Des schémas de la préparation des prises d'essai de sédiments sont présentés dans les figures 6 et 7, ainsi que les principaux modes opératoires ou manipulations.

2.9.1 Préparation des prises d'essai de sédiments pour les essais biologiques (mesure de la toxicité ou de la bioaccumulation)

Les échantillons de sédiments peuvent être livrés au laboratoire sous la forme de carottes ou d'échantillons pris par benne, intacts ou déjà sous-échantillonnés,

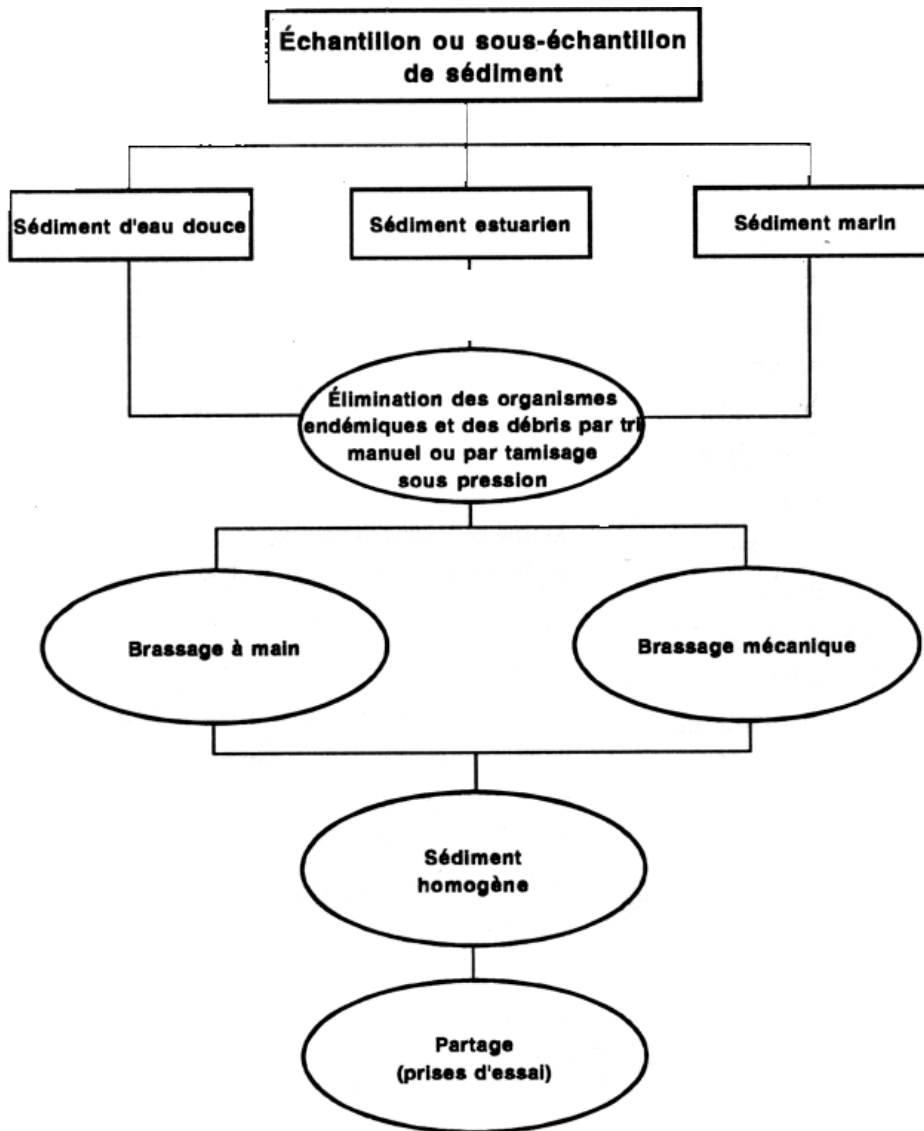
sectionnés, réunis en échantillons composés, homogénéisés ou ayant subi une quelconque combinaison de ces traitements, selon ce qui a été décidé dans le plan de l'étude. Les échantillons de sédiment entier qui ont été prélevés et déposés directement dans des récipients à échantillon, puis transportés au laboratoire, devraient être préparés en vue des essais de toxicité le plus tôt possible après leur arrivée. Leur manipulation en vue des essais biologiques est décrite à la figure 6.

Méthodes de séparation des organismes indigènes

Recommandations

- On peut séparer la macrofaune indigène des sédiments par tri manuel ou par tamisage sous pression des sédiments des milieux d'eau douce, estuariens et marins.
- Pour choisir la grosseur des mailles du tamis, on devrait tenir compte de l'essai de toxicité et des organismes d'expérience en cause, de la présence éventuelle de prédateurs ou d'espèces concurrentes ainsi que la nature de l'échantillon (p. ex., granulométrie, quantité et taille des débris).

Il peut être souhaitable de retirer des prises d'essai les organismes indigènes qui gênent directement (p. ex., les prédateurs) ou indirectement (p. ex., les espèces concurrentes) les organismes d'expérience (Redmond et Scott, 1989; Ingersoll et Nelson, 1990). Par exemple, les résultats d'essai sur les amphipodes ou les chironomidés effectués à l'aide de sédiments d'eau douce renfermant des tubificidés ou de sédiments marins renfermant des polychètes différeront considérablement des résultats obtenus au moyen de sédiments exempts de



Les manipulations sont encadrées.

Figure 6 Préparation des prises d'essai pour la détermination de la toxicité de sédiments en phase solide

ces deux types de vers (Redmond et Scott, 1989; Reynoldson *et al.*, 1994).
Dernièrement, un certain nombre de méthodes de séparation des organismes ont été examinées (Day *et al.*, 1995); toutefois, leurs effets sur les caractéristiques physicochimiques et biologiques des sédiments sont largement inconnus. Ces méthodes sont présentées dans le tableau 9,

dans l'ordre selon lequel on les recommande (c'est-à-dire, des plus aux moins à conseiller, selon le peu de données dont on dispose).

La congélation sert à tuer les organismes indigènes des sédiments et à inhiber l'activité microbienne; toutefois, les cadavres doivent être retirés des sédiments

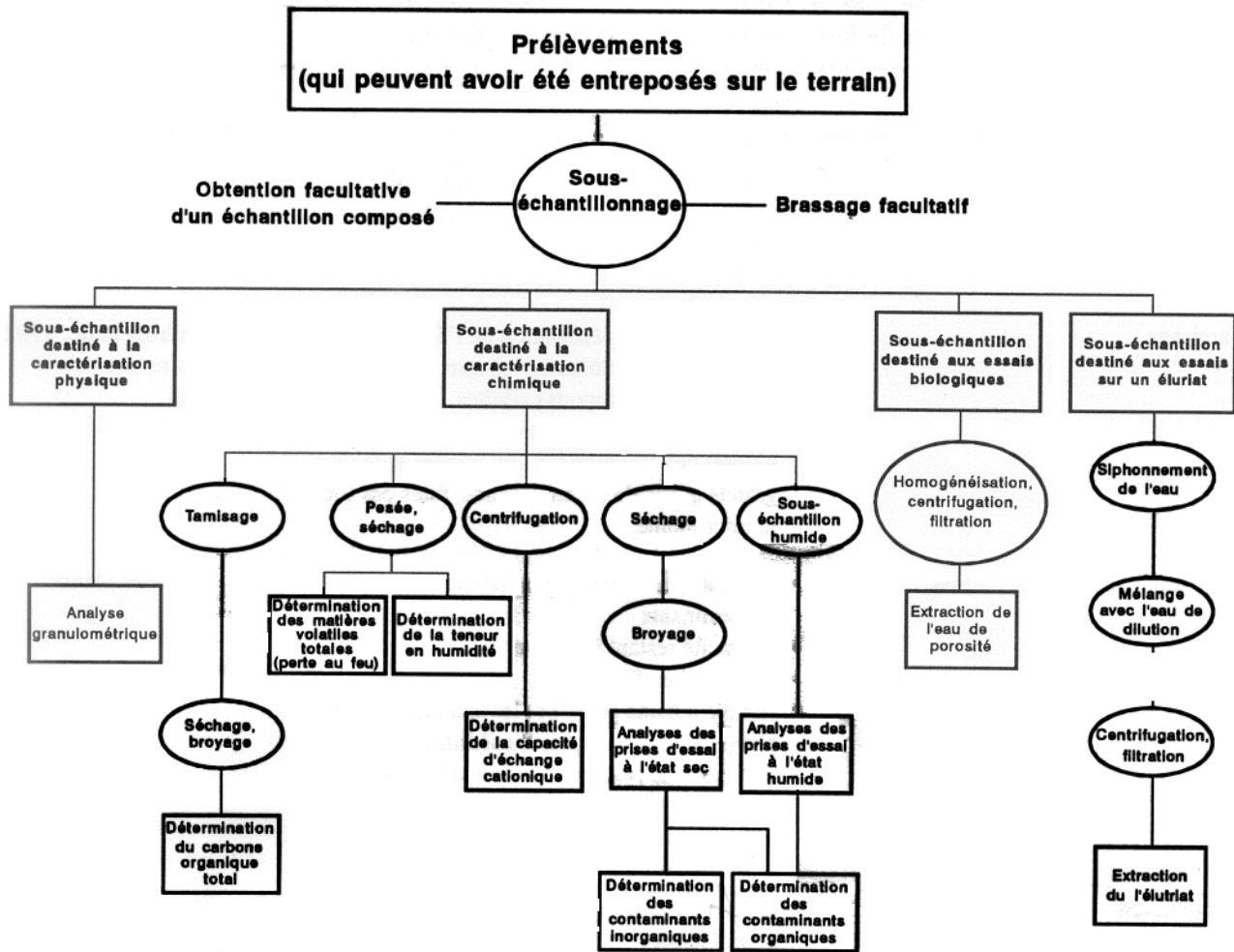


Figure 7 Préparation des prises d'essai pour la caractérisation physicochimique ainsi que pour l'extraction de l'eau de porosité et des éluviats des sédiments

pour empêcher l'anaérobiose de ces derniers. On peut aussi ajouter aux sédiments des stérilisants chimiques (p. ex., antibiotiques, formaldéhyde, méthylmercure, chlorure mercurique, azoture de sodium) pour supprimer, inhiber ou tuer les organismes vivants. L'autoclavage et l'irradiation aux rayons gamma servent également à détruire les organismes naturellement présents dans les sédiments. Les tamis à ouvertures de 0,25 mm arrêtent la macrofaune des sédiments d'eau douce (Day *et al.*, 1995), mais non la microfaune. Les tamis à

ouvertures de 0,5 mm arrêtent la plupart des jeunes amphipods des espèces *Rhepoxynius abronius* et *Corophium spinicornis* des sédiments marins (Swartz *et al.*, 1990). L'irradiation aux rayons gamma est probablement la méthode la plus prometteuse, parce que les faits recueillis jusqu'à ce jour portent à croire qu'elle est celle qui altère le moins les caractéristiques physiques et chimiques du sédiment (Day *et al.*, 1995). Toutefois, peu de renseignements ont été publiés concernant ses effets sur la toxicité des contaminants

Tableau 9 Méthodes de stérilisation des sédiments, de séparation des organismes et d'inhibition de leur croissance et méthodes biocides

Méthode	Observations	Références
Tri manuel	<ul style="list-style-type: none"> • méthode la plus répandue à l'égard des organismes visibles et faciles à capturer à l'aide d'une pipette ou de pincettes 	
Tamisage	<ul style="list-style-type: none"> • favorise l'homogénéisation de l'échantillon • un tamis à ouvertures de 1,0 mm arrête la plupart des amphipodes adultes • un tamis à ouvertures de 0,25 mm arrête la plupart des amphipodes non adultes et la plus grande partie de la macrofaune, mais pas toute la microfaune 	<p>Landrum <i>et al.</i>, 1992</p> <p>Robinson <i>et al.</i>, 1988</p> <p>Day <i>et al.</i>, 1995</p>
Irradiation aux rayons gamma	<ul style="list-style-type: none"> • effets inconnus sur la plupart des contaminants • efficacité restant à prouver • données insuffisantes • semble à peine perturber les caractéristiques physiques et chimiques du sédiment • <i>H. azteca</i> ne peut pas survivre dans les sédiments irradiés • altère la "structure" du sédiment 	Day <i>et al.</i> , 1995
Congélation	<ul style="list-style-type: none"> • tue les organismes et inhibe l'activité microbienne • les cadavres doivent être retirés; les processus de décomposition peuvent conduire à l'anaérobiose • altère la "structure" du sédiment 	Day <i>et al.</i> , 1995
Autoclavage	<ul style="list-style-type: none"> • méthode répandue, bien que variable et non normalisé • perte des substances volatiles • perturbe les caractéristiques physiques et chimiques du sédiment • <i>H. azteca</i> ne peut pas survivre dans les sédiments ainsi traités 	<p>ASTM, 1992a</p> <p>Hood et Ness, 1982</p> <p>Burton, 1992</p> <p>Day <i>et al.</i>, 1995</p>
Stérilisation chimique au chlorure mercurique ou à l'azoture de sodium	<ul style="list-style-type: none"> • le chlorure mercurique est plus efficace comme bactéricide que l'azoture de sodium • interférence avec les contaminants des sédiments 	ASTM, 1992a
Antibiotiques : streptomycine ampicilline	<ul style="list-style-type: none"> • se lient facilement à la matière organique • sont labiles • sont photosensibles 	Burton <i>et al.</i> , 1987

des sédiments. Le tri à l'aide de pincette (méthode manuelle) est la technique recommandée à l'égard des organismes qui doivent servir aux essais de toxicité. Le tamisage sous pression sans addition d'eau peut être utilisé lorsque le tri à la main est impraticable. Les autres méthodes présentées ne devraient pas être utilisées pour la suppression des organismes indigènes des sédiments devant être soumis à des essais de toxicité.

Méthodes de tamisage des sédiments

Recommandations

- Préalablement au tamisage, on devrait placer le sédiment sur un plateau de triage fait d'un matériau inerte, pour séparer à la main les grosses roches et les autres débris.
- Si les sédiments superficiels sont exempts d'oxygène et s'il est souhaitable de les maintenir en cet état, on devrait les préparer dans une boîte à gants. Dans certains cas, il pourra être nécessaire d'adapter cette enceinte pour permettre les préparations.
- S'il faut tamiser des sédiments marins, estuariens ou d'eau douce (l'opération devrait être évitée dans la mesure du possible), on devrait choisir la taille des ouvertures du tamis en tenant compte de l'essai de toxicité et de l'organisme d'expérience, des prédateurs ou des organismes concurrents qui pourraient être présents ainsi que de la nature de l'échantillon (p. ex., granulométrie, quantité et taille des débris).
- Pour la sélection du tamis, on devrait prendre en considération les critères qui servent à la sélection des récipients à échantillon (§ 2.8), afin de réduire au

minimum ou d'atténuer la contamination et l'adsorption. L'emploi de tamis de laiton est déconseillé.

- Le tamisage sous pression des sédiments, sans addition d'eau, devrait toujours s'effectuer dans un endroit bien aéré (p. ex., sous une hotte). Seul le liquide qui s'est séparé de l'échantillon pendant le transport et l'entreposage devrait être utilisé pour le tamisage; on ne devrait pas employer d'eau.
- Si l'on tamise les sédiments, il est recommandé d'en déterminer les propriétés physicochimiques avant l'opération, puis après, afin de noter les modifications attribuables au tamisage. Dans certains cas, il pourrait être nécessaire d'effectuer des essais de toxicité comparatifs avec les sédiment brut et la sédiment tamisé, pour faire ressortir l'effet du tamisage sur la toxicité du sédiment.

On devrait examiner au microscope les sédiments destinés aux évaluations toxicologiques pour y déceler des espèces endémiques gênantes et on ne devrait tamiser ces sédiments que si c'est nécessaire (c'est-à-dire, lorsque le tri manuel est soit impraticable, soit inefficace). Le chercheur devrait savoir que le tamisage risque d'altérer la concentration ou la biodisponibilité des contaminants dans le sédiment en supprimant des substances (p. ex., les particules grossières et moyennes de sable) ou en les concentrant, en modifiant l'équilibre chimique (p. ex., augmentation de la volatilisation, de la sorption ou de la désorption) ou encore en modifiant l'activité biologique dans le sédiment. On devrait donc s'efforcer d'extraire les organismes et les grosses particules (p. ex., roches et débris) à l'aide de pincettes avant de recourir au tamisage. Lorsqu'on tamise un sédiment,

il est recommandé d'en déterminer les propriétés physicochimiques avant et après l'opération.

Si le seul recours est le tamisage, on préférera la pression à la voie humide. Dans le tamisage sous pression, méthode acceptable, les particules de sédiment traversent un tamis à ouvertures d'une taille déterminée sous l'action d'une pression mécanique (Geisy *et al.*, 1990; Johns *et al.*, 1991). Toutefois, l'opération est manifestement très difficile quand des sédiments renfermant des débris ou de la végétation ou ayant une forte teneur en argile doivent traverser des ouvertures de moins de 1 mm. On pourrait donc avoir besoin d'une série de tamis.

Le tamisage par voie humide a souvent été utilisé pour débarrasser les sédiments des organismes indigènes dont la présence pouvait mettre en péril les résultats des essais (Pastorak et Becker, 1990; Stemmer *et al.*, 1990b); toutefois, il n'est recommandé que lorsque le tamisage sous pression est impraticable.

L'opération consiste à agiter ou à faire tourner le tamis portant le sédiment dans l'eau séparée du sédiment pendant le transport et l'entreposage, de sorte que les particules plus petites que la taille choisie des ouvertures traversent le tamis et sont recueillies dans un récipient. Le liquide doit ensuite être mélangé à nouveau avec l'échantillon tamisé. Pour faciliter l'opération, on peut agiter le tamis mécaniquement ou remuer le sédiment déposé sur le tamis à l'aide d'une brosse de nylon (Mudroch et MacKnight, 1991). On ne devrait pas ajouter d'eau à un sédiment pendant son tamisage. Même si l'on déconseille fortement l'emploi de sédiments tamisés par cette méthode, celle-ci peut

parfois être la moins incompatible avec l'évaluation de la toxicité (Day, 1993). Tant que les résultats de travaux sur l'utilité de méthodes de rechange ne seront pas disponibles, le tamisage sous pression ou, si les sédiments ne s'y prêtent pas, le tamisage par voie humide ne sont recommandés que lorsque le tri des organismes endémiques à l'aide de pincettes est soit impraticable, soit inefficace.

Pour traiter des sédiments destinés à des essais de toxicité, on a utilisé des tamis d'acier inoxydable, de laiton ou de polymères de plastique tissés (p. ex., polyéthylène, polypropylène, nylon et Teflon®); leurs ouvertures ont pu varier de 0,24 à 2,0 mm (Keilty *et al.*, 1988a, b et c; Geisy *et al.*, 1990; Lydy *et al.*, 1990; Pastorak et Becker, 1990; Stemmer *et al.*, 1990a et b; Johns *et al.*, 1991; Landrum et Faust, 1991). La taille d'ouverture la plus souvent utilisée est de 1,0 mm; toutefois, aucune donnée comparative ne permet de montrer : a) l'effet des différents types d'ouvertures disponibles; b) que 1,0 mm constitue la taille optimale. Selon des données comparatives récentes sur la toxicité, la taille optimale de ouvertures des tamis pour arrêter les organismes indigènes est de 0,25 mm (Day *et al.*, 1995) : elle permet de débarrasser les sédiments de la plus grande partie de la macrofaune, tout en favorisant l'homogénéisation. Swartz *et al.* (1990) ont montré que, dans le cas de sédiment marins destinés à des essais de toxicité sur l'amphipode *Rhepoxynius abronius* (Barnard), une taille adéquate est de 0,5 mm. Si les sédiments ne peuvent pas être tamisés sous pression, le tamisage par voie humide peut suffire; toutefois, il faudrait reconnaître que cette méthode risque d'atténuer la toxicité des sédiments.

Méthodes d'homogénéisation des sédiments

Recommandations

- Pour obtenir une couleur, une texture et une teneur en humidité qui soient homogènes, on peut recourir au brassage manuel ou mécanique; toutefois, l'efficacité de la méthode doit être démontrée a priori, et il faut normaliser la durée du brassage et pour assurer la cohérence des résultats et réduire cette durée au minimum pour altérer le moins possible la répartition granulométrique des particules de sédiment.
- Le brassage des sédiments devrait se faire dans le récipient à échantillon ou le récipient d'entreposage, ou encore dans un contenant de mélange propre où l'on transfère l'échantillon.
- La technique recommandée de répartition du sédiment entre les récipients d'essai est le quartage. Si l'on se sert d'un répartiteur de sédiment, il faut en démontrer l'efficacité. Le dispositif doit être fait d'un matériau inerte adéquat.

Après l'avoir débarrassé des débris et des organismes par cueillette ou tamisage, on doit homogénéiser le sédiment mécaniquement jusqu'à l'obtention d'une couleur et d'une texture uniformes. À cette fin, on peut utiliser un mélangeur mécanique (Ditsworth *et al.*, 1990; Stemmer *et al.*, 1990b; Kemble *et al.*, 1993), bien que le brassage manuel soit le moyen le plus répandu (Malueg *et al.*, 1986; Clark *et al.*, 1987; Burton *et al.*, 1989; Ingersoll et Nelson, 1990; Pastorok et Becker, 1990; Carr et Chapman, 1992; Johns *et al.*, 1991). Pour le brassage manuel, on peut utiliser une spatule, aplatir le gâteau de sédiment sur une feuille de plastique ou une feuille de métal

préalablement soumise à la calcination, puis faire culbuter les matières en soulevant chaque coin de la feuille à la suite ou les séparer par quartage (Mudroch et MacKnight, 1991). Quelle que soit la méthode de brassage (mécanique ou manuelle), il faudrait en démontrer l'efficacité et normaliser la durée de l'opération afin s'assurer la cohérence des résultats (Ditsworth *et al.*, 1990; Stemmer *et al.*, 1990 a et b). Il est recommandé de mélanger l'échantillon dans le récipient à échantillon ou le récipient d'entreposage (Ditsworth *et al.*, 1990). Toutefois, si cela se révèle impraticable, on devrait le transvaser dans un contenant de mélange adéquat selon les critères du tableau 7. La durée du brassage nécessaire pour obtenir un mélange homogène devrait être réduite au minimum, car le brassage mécanique prolongé risque d'altérer la répartition granulométrique des particules de l'échantillon. Il se peut également que les sédiments subissent une oxydation au cours d'un brassage prolongé. Des sédiments sableux renfermant une macrofaune abondante sont devenus anaérobies dans les récipients d'essai, tandis que des sédiments non mélangés ont conservé leur oxygène (Hickey, 1994). Ce phénomène a été attribué à la rupture des organismes puis à leur décomposition. On a évité ce problème en cueillant les organismes ou en les tamisant avant de procéder au brassage mécanique.

Après l'homogénéisation, il faut répartir le sédiment entre les récipients d'essai. Le volume à déposer dans chaque récipient dépend du protocole expérimental. On recommande la technique de quartage pour la répartition des prises d'essai. À cette fin, on façonne le sédiment en forme de cône ou de gâteau, au centre d'une plaque ou d'une tôle. On divise ensuite le cône ou le gâteau en quatre, au moyen d'un outil spécial, ou on

l'aplatit en une forme circulaire de dimensions uniformes (comme celle d'un gâteau), qu'on divise également en quatre. Les quarts opposés sont retirés et mélangés. L'échantillon fractionné est ensuite mélangé, façonné de nouveau en cône ou en gâteau puis divisé en quatre autant de fois qu'il le faut pour obtenir le volume souhaité pour la prise d'essai. Le sédiment est ensuite réparti au hasard entre les récipients d'essai. Pour les sédiments renfermant beaucoup d'eau, il peut convenir davantage d'utiliser un répartiteur mécanique (p. ex., une boîte répartitrice) conçu précisément pour obtenir des sous-échantillons d'un volume constamment égal.

Idéalement, le volume homogénéisé d'un échantillon prélevé par benne devrait suffire à une essai de toxicité. Toutefois, selon les objectifs de l'étude et la méthode de prélèvement de sédiments, il pourrait être insuffisant. Si la variabilité des sédiments dans une même station ne constitue pas un problème, on peut soumettre les sédiments de prélèvements multiples au tri manuel des organismes, les réunir pendant le tamisage sous pression (si cette opération est souhaitable) ou l'homogénéisation, puis les répartir entre les récipients d'essai. Toutefois, si les sédiments risquent d'être très variables dans la même station, il faut maintenir séparés les sédiments des prélèvements par benne, les traiter de la façon adéquate puis les déposer dans des récipients distincts, pour des essais en parallèle.

2.9.2 Préparation des prises d'essai pour la caractérisation chimique

Idéalement, afin d'aider à caractériser l'échantillon, on devrait mesurer sur les lieux du prélèvement les caractéristiques du sédiment qui sont instables (p. ex., le pH ou le potentiel d'oxydoréduction) ou qui sont modifiées par les conditions de transport et

d'entreposage (p. ex., la température). Au laboratoire, on devrait mélanger avec soin chaque prélèvement de sédiment (§ 5.3) et en extraire des sous-échantillons représentatifs aux fins de la caractérisation physicochimique. Celle-ci devrait consister à analyser les sous-échantillons pour déterminer au moins les paramètres suivants (USEPA, 1994a) : la répartition granulométrique du sédiment entier (pourcentage de sable, de limon et d'argile), sa teneur en eau (en pourcentage), sa teneur en carbone organique total, le pH de l'eau de porosité et sa teneur en ammoniac. On pourrait aussi analyser d'autres paramètres (USEPA, 1994a) : carbone organique total, solides volatils totaux, demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, capacité d'échange cationique, sulfures volatils acides, métaux, composés organiques synthétiques, huiles et graisses, hydrocarbures pétroliers et caractéristiques physicochimiques diverses de l'eau de porosité. Sauf indication contraire, on devrait soumettre aux mêmes essais physiques, chimiques et toxicologiques des sous-échantillons représentatifs de chacun des échantillons répétés (y compris un sédiment de référence) prélevés sur le terrain pour une étude particulière de la qualité des sédiments, ainsi qu'un sous-échantillon d'un sédiment de contrôle.

Les contaminants à surveiller dans les sédiments dépendent dans une grande mesure des objectifs de l'étude et des renseignements actuels et antérieurs sur la ou les sources possibles de contaminants dans la zone d'étude. Les constituants les plus souvent dosés dans les sédiments sont les silicates, les nitrates, les phosphates, les principaux ions, le carbone organique total et l'ion ammonium. Les contaminants inorganiques les plus souvent dosés dans les sédiments comprennent les formes totales et ioniques de l'arsenic, du cadmium, du

mercure, du cuivre, du chrome, du nickel, du plomb, du zinc, du cobalt, du fer, des cyanures et de l'aluminium. Les contaminants organiques les plus souvent dosés comprennent les hydrocarbures volatils et semi-volatils avec et sans substituants halogénés (p. ex., les trihalométhanes, le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, le xylène et les pesticides rémanents tels que ceux du type phénoxy, les organochlorés et les cyclodiènes), les substances extractibles chlorées, neutres, basiques et acides (y compris les hydrocarbures aromatiques polycyclique [HAP] et les biphényles polychlorés [BPC]) les dioxines, les furanes, les phénols et les hydrocarbures pétroliers totaux (p. ex., huiles et graisses). Les contaminants à analyser devraient être choisis à la lumière des données historiques disponibles.

Les critères de sélection pour établir la liste des paramètres à analyser, les besoins en appareils et les méthodes d'analyse devraient être déterminés a priori et décrits dans le plan de l'étude. L'évaluation des données historiques et des sources possibles de contaminants pourrait donner un bon aperçu des types de contaminants présents et de leurs concentrations. Toutefois, si ces données font défaut ou sont inadéquates, il pourrait être nécessaire d'effectuer une étude initiale globale de toutes les substances à analyser afin d'attirer l'attention sur les contaminants que l'on pourrait ensuite analyser de façon répétitive et doser. Il importe d'analyser des échantillons répétés afin de déterminer la variance à l'intérieur d'un échantillon de sédiment et la variance due à la méthode d'analyse. Les modes opératoires de la préparation des échantillons répétés doivent être identiques.

Le programme d'assurance et de contrôle de la qualité des analyses doit s'attacher à la variance attribuable aux caractéristiques des

sédiments et aux méthodes d'analyse. Pour l'analyse des contaminants des sédiments, Environnement Canada préconise une approche axée sur les objectifs de qualité des données. Ces objectifs sont des énoncés du degré acceptable d'incertitude des résultats tirés des données sur l'environnement, notamment lorsque ces résultats doivent servir de fondement à des décisions concernant des programmes ou l'application de règlements. Environnement Canada préconise également l'emploi de normes minimales de performance. Ainsi, du moment qu'elle satisfait aux objectifs de qualité des données et aux normes minimales de performance, une méthode d'analyse est acceptable.

Séchage du sédiment. Le séchage d'un sous-échantillon de sédiment peut être une condition préalable de la caractérisation chimique ou de l'un de ses éléments (p. ex., détermination du carbone organique total). Les échantillons peuvent être séchés à l'air ou au four ou lyophilisés. Le séchage au four à basse température (40–60° C) ou la lyophilisation sont les méthodes recommandées pour les sédiments. On dépose les sous-échantillons sur des plateaux ou dans des creusets propres en matériau inerte (p. ex., porcelaine, aluminium, Pyrex) qui ont été préalablement traités (p. ex., chauffés au four) pour être débarrassés du carbone, et on porte le tout au four de séchage de laboratoire. Ce four doit être préréglé à la température voulue et la circulation de l'air doit y être bonne; il doit être thermostaté avec exactitude et doit se fermer automatiquement aux températures fixées. Les échantillons doivent être séchés jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La durée et la température de séchage, qui dépendent principalement du volume de l'échantillon, ont varié de 4 à 48 h et de 50 à 110° C (Plumb, 1981; EC, 1985; Loring et Rantala, 1992). L'objectif est de sécher

l'échantillon le plus rapidement possible dans le contaminer, tout en réduisant au minimum les pertes dues à l'oxydation biologique et chimique. Le séchage des sédiments au four à 60° C pendant 16 h est recommandé (Centre Saint-Laurent, 1992). À noter que le séchage préalable à l'analyse risque d'entraîner la perte de composés organiques et de diminuer l'efficacité de l'extraction (Windsor et Hites, 1979; Haddock *et al.*, 1983). Les deux méthodes de séchage peuvent, chez les sédiments marins, aboutir à la rétention de sel marin soluble qui gêne l'analyse de certains éléments majeurs et empêche certaines mesures de la structure physique (Loring et Rantala, 1992).

Concassage ou broyage du sédiment. Le concassage ou le broyage d'un sous-échantillon de sédiment pourraient être nécessaires à la caractérisation chimique. Ces opérations visent à désagréger l'échantillon séché et à en assurer l'homogénéisation. Le concassage se fait habituellement au pilon, dans un mortier. On recommande les broyeurs à boulets et à galets offerts dans le commerce pour les petits volumes de sédiment (Mudroch et MacKnight, 1991); toutefois, on devrait savoir que l'opération risque de modifier les propriétés chimiques de l'échantillon.

2.9.3 Préparation des prises d'essai constituées d'eau de porosité

Il sera ici question de la séparation de l'eau de porosité des sédiments; l'extraction de cette eau sur les lieux mêmes du prélèvement des échantillons a déjà fait l'objet du § 2.6.

Recommandations

- La centrifugation est la méthode recommandée d'extraction de l'eau de porosité.

- L'importe de maintenir une atmosphère exempte d'oxygène au cours de l'extraction. Cela est beaucoup plus facile avec des bouteilles ou des tubes de centrifugation plutôt qu'avec des presses à sédiment. Opération relativement simple, la centrifugation a cependant comme inconvénient de n'extraire que de 20 à 30 % de l'eau interstitielle, selon le type de sédiment.
- On devrait utiliser des tubes à centrifuger en Teflon®, en verre Corex, en polycarbonate ou en acier inoxydable (quand les contaminants d'intérêt sont organiques).
- L'extraction de l'eau de porosité par centrifugation devrait se faire le plus tôt possible (c'est-à-dire, de préférence, dans les 24 heures suivant le prélèvement de l'échantillon).
- Pour préparer l'échantillon en vue de l'extraction de l'eau de porosité, déposer des sous-échantillons de 1 L de l'échantillon homogénéisé de sédiment dans des bouteilles à centrifuger. En général, 1 L de sédiment donnera environ 400 mL d'eau de porosité. Si l'on a besoin de volumes moins importants d'eau de porosité, on peut soumettre de plus petits volumes de sédiment à l'extraction.
- L'eau interstitielle peut s'accumuler à la surface des échantillons de sédiment au cours de l'entreposage de ces derniers. Cette eau sus-jacente devrait être mélangée au sédiment avant de faire la répartition entre les bouteilles à centrifuger.
- Centrifuger 30 minutes à 10 000 g et à 4° C, au moyen d'une centrifugeuse de grande capacité avec réfrigérant.

- Décanter soigneusement le surnageant (c'est-à-dire, l'eau de porosité) dans un récipient de verre propre.
- On devrait analyser le'eau de porosité ou l'utiliser dans les essais biologiques immédiatement ou le plus tôt possible après l'extraction. Elle devrait être gardée à $4 \pm 2^\circ \text{C}$ pendant au plus 24 h, sauf indication contraire dans la méthode d'essai.
- Certaines méthodes d'essai pourraient exiger une filtration lente sous faible pression. Cette technique est fortement déconseillée parce qu'elle pourrait réduire la toxicité de l'eau de porosité. La double centrifugation, d'abord à faible vitesse puis à haute vitesse, peut se substituer à la filtration pour purifier l'eau de porosité de ses particules. S'il est absolument nécessaire (c'est-à-dire, exigé par la méthode d'essai biologique) de filtrer l'eau de porosité, on devrait utiliser des filtres traités et effectuer une analyse à blanc d'un filtré pour évaluer l'adsorption de substances toxiques potentielles sur le filtre et leur désorption à partir de celui-ci (Lam, 1967; Levi et Novicki, 1972; Novicki *et al.*, 1979).
- Si l'analyse des métaux traces dans l'eau de porosité doit attendre, on peut acidifier les échantillons et les entreposer jusqu'à six semaines (tableau 7).

Le pressage et la centrifugation sont les deux techniques les plus répandues d'extraction de l'eau de porosité des échantillons de sédiment au laboratoire. Parmi les autres méthodes, citons la dessiccation, la filtration sous vide, la lixiviation et la déplacement (Adams, 1991). On trouvera un résumé et une analyse détaillée des avantages et des inconvénients de trois techniques

d'extraction de l'eau de porosité (centrifugation, aspiration sous vide et pressage) dans Carr et Chapman (1995). Le pressage et la centrifugation sont généralement préférés quand on a besoin de grands volumes d'eau de porosité (ASTM, 1992a). La centrifugation donne généralement des volumes plus importants d'eau de porosité que le pressage (Saager *et al.*, 1990). Les détails concernant ces manipulations sont présentés dans l'annexe F.

2.9.4 Préparation des prises d'essai pour l'extraction d'un élutriat

Recommandations

- L'échantillon de sédiment destiné à l'extraction de l'élutriat (qui a été gardé à 4°C dans des récipients hermétiquement fermés) doit être homogénéisé avant qu'on en dépose des sous-échantillons dans les bouteilles à centrifuger. On s'assure ainsi que l'eau sus-jacente est mélangée au sédiment.
- Déterminer la masse moyenne d'un certain nombre de bouteilles à centrifuger (p. ex., 10).
- Déposer des sous-échantillons de sédiment (50 ou 200 g) dans des bouteilles à centrifuger propres (250 ou 1000 mL, respectivement) et ajouter de l'eau de dilution au sédiment selon un rapport volumique de 4/1.
- On doit mesurer la quantité de sédiment et d'eau dans chaque bouteille tarée, pour s'assurer que le poids des bouteilles est égal pour la centrifugation.
- Porter les bouteilles à centrifuger, qui renferment le poids voulu d'eau et de

sédiment, dans un appareil à mélanger les éluutriats et les y faire culbuter pendant 30 minutes à 12 tr/min et à 4° C (Cleveland *et al.*, 1995).

- Peser les bouteilles avant de les placer dans la centrifugeuse, pour s'assurer que l'écart des poids se situe dans l'intervalle de $\pm 0,20$ g. Au besoin, ajouter suffisamment d'eau pour équilibrer les masses.
- Centrifuger les bouteilles à 10 000 g pendant 10 minutes à 4° C.
- Retirer l'éluutriat soigneusement de chaque bouteille, en ne filtrant qu'en cas de nécessité (voir ci-dessous), puis soit réunir les éluutriats, les sous-échantillonner et les transvaser dans des récipients adéquats, soit transvaser chaque éluutriat directement dans un récipient d'essai sans réunir les liquides en un échantillon composé.
- On devrait analyser l'éluutriat ou l'utiliser dans les essais biologiques immédiatement ou le plus tôt possible après l'extraction. Il devrait être gardé à 4 ± 2 ° C pendant au plus 24 h, sauf indication contraire de la méthode d'essai.
- La filtration de l'éluutriat est à déconseiller; toutefois, elle peut être requise par certaines méthodes d'essai. Si l'éluutriat est filtré, on ne devrait utiliser que des filtres préalablement traités et rejeter les premiers 10 à 15 mL d'éluutriat qui les traversent. On devrait évaluer l'adsorption des substances à analyser sur les filtre ou leur désorption à partir de ceux-ci.

La méthode d'analyse d'un éluutriat a d'abord été mis au point afin d'évaluer les effets des travaux de dragage sur la qualité de l'eau (USEPA, 1979), mais elle s'applique à toute situation qui a quelque chose à voir avec la

remise en suspension des substances toxiques liées aux sédiments (ASTM, 1992a). Les essais sur éluutriat ne visent pas à mesurer la toxicité de l'eau de porosité ou des sédiments lités. Les éluutriats se sont révélés plus toxiques (Hoke *et al.*, 1990), aussi toxiques (Flegal *et al.*, 1994) et moins toxiques (Ankley *et al.*, 1991c) que l'eau de porosité, principalement en raison des différences de biodisponibilité des substances toxiques dans les deux types de milieux (Harkey *et al.*, 1994). Comme un extrait aqueux de sédiment entier pourrait ne pas représenter exactement l'exposition observée dans ce sédiment (Harkey *et al.*, 1994), les éluutriats ne sont pas universellement reconnus comme convenant à l'évaluation de la toxicité des sédiments. Il ne sont pas jugés acceptables pour l'évaluation de la toxicité de sédiments lités, mais ils peuvent donner une indication de la toxicité des matières draguées au cours de leur immersion ou pendant la remise en suspension fréquente de sédiments très fins sous l'effet de vents puissants (p. ex., dans la baie San Francisco).

2.10 Sommaire des recommandations pour les études de surveillance et d'évaluation

Plan d'étude

- Exposer clairement l'objet (buts, finalité) et l'hypothèse de départ de l'étude, et les intégrer au plan de l'étude.
- Délimiter la zone d'étude et le lieu de l'étude sur une carte hydrographique ou topographique. Il faut entreprendre l'inspection matérielle de la zone et du lieu projetés, et on devrait consulter les sources locales de renseignement sur l'état des lieux.

- Déterminer les sources possibles de contamination et les localiser sur la carte.
- Recueillir, consulter et évaluer toute les données historiques utiles à l'étude (§ 2.3.2).
- Déterminer (p. ex., par sondage acoustique) et confirmer (p. ex., par un plongeur ou par surveillance électronique, ou encore par un échantillonnage préliminaire) l'emplacement des sédiments fins.
- Sélectionner une méthode de détermination de l'emplacement des stations d'échantillonnage (p. ex., échantillonnage au jugé, aléatoire stratifié, systématique, etc.). Si l'objet de l'étude est d'établir la répartition quantitative, spatiale ou temporelle des sédiments toxiques ou contaminés, le plan d'échantillonnage qui convient le mieux consiste à employer un quadrillage systématique ou régulier du lieu de l'étude (Green, 1979; Atkinson, 1985).
- Si l'objet de la surveillance est de déterminer l'étendue de la contamination des sédiments due à une source ponctuelle, le plan d'échantillonnage devrait reposer sur l'hypothèse que les concentrations diminuent en fonction de l'éloignement de la source; il faut donc prendre en considération les facteurs de dispersion (p. ex., les courants). Dans un cours d'eau où la source ponctuelle est un émissaire d'évacuation, les stations d'échantillonnage devraient donc être situées dans des zones d'accumulation à des distances fixes en aval, déterminées selon une progression géométrique (c'est-à-dire, x , $2x$, $4x$, $8x$, etc.) (Mudroch et MacKnight, 1991). En même temps, on prélève habituellement des échantillons à des points en amont, qui servent de stations de contrôle ou de référence.
- Si la source ponctuelle est située dans une étendue d'eau où la dispersion n'est pas unidirectionnelle, les stations d'échantillonnage devraient être situées selon une répartition concentrique, à l'intersection de distances géométriques fixes et d'un angle ou d'un relèvement prédéterminé.
- Décider de la méthode de positionnement qui convient le mieux au lieu et à l'étude (§ 2.3.5).
- Décider du nombre et de la nature des analyses d'échantillons (p. ex., types d'essais analytiques).
- Déterminer la masse ou le volume des échantillons qui permettra de répondre aux exigences des méthodes d'analyse et du programme d'assurance et de contrôle de la qualité de toutes les analyses prévues (c'est-à-dire, caractérisation physicochimique, essais biologiques, etc.).
- Déterminer la fréquence d'échantillonnage (ou le moment des prélèvements) qui permettra de répondre aux buts et aux objectifs de l'étude. Si celle-ci comporte un élément de saisonnalité, il faudrait en tenir compte dans le plan de l'étude. Il est vital de prendre en considération la vitesse de sédimentation lorsqu'on détermine la fréquence d'échantillonnage.
- Décider du seuil de confiance et de l'ampleur acceptable de l'effet recherché dans les résultats à tirer des échantillons, et déterminer le nombre d'échantillons requis pour atteindre ces critères ainsi que les objectifs concernant les prélèvements sur place et la qualité des données du

programme d'assurance et de contrôle de la qualité (§ 2.3.6; annexe C).

- S'il faut prélever des échantillons répétés à chaque station d'échantillonnage, on en recommande au moins trois par station, de préférence cinq. Toutefois, leur nombre peut être déterminé au préalable à la suite de prélèvements et l'analyses préliminaires d'échantillons (§ 2.3.6).
- Le plan de l'étude, y compris le plan d'échantillonnage (déterminant la fréquence, le nombre et l'emplacement des prélèvements sur le terrain ainsi que les mesures et les observations sur place), devrait être soumis à un statisticien ou à un autre professionnel qualifié, avant le début de l'étude de surveillance.
- Le plan de l'étude devrait traiter de l'élimination des déchets produits pendant l'étude.

Préparatifs de l'échantillonnage

- Une planification et des préparatifs rigoureux devraient précéder la campagne d'échantillonnage. Ils devraient englober des protocoles pour les besoins de la logistique ainsi que des listes de contrôle de l'équipement requis pour chaque opération d'échantillonnage. Pour les points à considérer, consulter le § 2.3.7.
- Le plan et le calendrier d'échantillonnage devraient être affichés, de sorte que tout le personnel sera prévenu de la nature et du moment des travaux. Le directeur ou le gestionnaire de l'étude devrait s'assurer que le personnel concerné comprend très bien son rôle et est capable d'exécuter les tâches et les responsabilités qui lui sont confiées. Il devrait aussi s'assurer que les nom, adresse et numéro(s) de téléphone de tous ceux qui participent aux préparatifs et

à l'exécution du programme d'échantillonnage sont mis à la disposition de tous les participants. La planification d'urgence devrait prévoir les besoins en personnel et en équipement de relève.

- Les réactifs utilisés pour nettoyer, faire fonctionner ou étalonner l'équipement et pour prélever, préserver ou traiter les échantillons (p. ex., pour les manipulations et les préparations) devraient relever du responsable de la santé et de la sécurité, et les fiches signalétiques ou fiches techniques santé-sécurité les concernant devraient être accessibles.
- Les formulaires de saisie des données et les journaux devraient être préparés à l'avance, de sorte qu'on n'aura qu'à y inscrire, rapidement et efficacement, les données et les notes de terrain.
- Tout l'équipement de prélèvement et de manipulation des échantillons doit être nettoyé, et on doit en examiner toutes les pièces pour en assurer le bon fonctionnement (p. ex., montage ou fonctionnement sur place) avant de les emporter en campagne. On devrait se munir de trousse de réparation ainsi que d'équipement et d'accessoires d'échantillonnage de réserve.
- Les récipients à échantillon (*cf.* tableau 7) devraient être propres ou préalablement traités, selon l'usage qu'on fera des échantillons, avant d'être emportés sur les terrain (*cf.* tableau 8, § 2.8.1). On devrait préparer des récipients supplémentaires en prévision d'accidents ou de bris.
- Pendant le transport vers le lieu de l'étude, les bouchons devraient être fixés aux récipients; ceux-ci devraient porter une étiquette indiquant le numéro d'identification de l'échantillons et

suffisamment grande pour qu'on puisse ajouter les renseignements obligatoires (cf. § 2.8.1).

- Le programme d'assurance et de contrôle de la qualité devrait comporter un essai à blanc au moyen de récipients témoins qui auront subi le même traitement que les autres échantillons au cours du transport.

Saisie des données de terrain

- Numéro de l'échantillon, numéros des échantillons répétés, numéro de la station, identification de l'emplacement (p. ex., nom);
- heure et date du prélèvement;
- conditions météorologiques ambiantes, y compris la vitesse et la direction du vent, l'action des vagues, les courants, la marée, la circulation de navires, la température de l'air et de l'eau et l'épaisseur de la glace (s'il y a lieu);
- emplacement de la station (p. ex., positionnement) et emplacement du prélèvement de chaque échantillon répété;
- type de bateau utilisé (p. ex., tonnage, puissance, type de moteur);
- type d'échantillonneur et toute modification apportée au cours du prélèvement;
- profondeur de l'eau à chaque station d'échantillonnage et profondeur d'échantillonnage des sédiments;
- nom du personnel qui a prélevé les échantillons;
- détails concernant des faits inhabituels qui pourraient être survenus au cours du prélèvement (p. ex., contamination

possible de l'échantillon, mauvais fonctionnement de l'équipement, aspect inhabituel de l'échantillon, etc.);

- description du sédiment, y compris sa texture et sa consistance, sa couleur, son odeur, la présence d'organismes vivants, une estimation de la quantité prélevée par benne, la longueur et l'aspect des carottes;
- écarts par rapport aux modes opératoires normalisés;
- température et pH du sédiments à l'interface sédiment-eau;
- potentiel d'oxydoréduction des sédiments en surface, afin d'établir les conditions d'oxygénation (présence ou absence d'oxygène);
- concentration d'oxygène dissous dans les sédiments de surface, afin de déterminer si ces derniers sont oxygénés ou non ou la profondeur à partir de laquelle les sédiments sont exempts d'oxygène;
- salinité et conductivité de l'eau au-dessus des sédiments.

Prélèvements des sédiments

- Les échantillonneurs recommandés pour le prélèvement des sédiments dans des milieux d'eau douce, estuariens et marins sont présentés dans les figures 3, 4 et 5, respectivement (§ 2.5).
- Pour le prélèvement des sédiments de surface, la profondeur de pénétration minimale recommandée est de 6 à 8 cm; toutefois, on préfère une profondeur de 10 à 15 cm (§ 2.5.2).
- Pour une bonne maîtrise de la vitesse de descente et de remontée des

échantillonneurs, il faut un système de treuillage adéquat (p. ex., cf. § 2.5.3).

- Le bateau ou la plate-forme servant au prélèvement devrait être stationnaire et aussi stable que possible.
- Si des sédiments y adhèrent, il faut soigneusement rincer l'extérieur de l'échantillonneur avec de l'eau propre, dès la récupération de l'appareil, avant le transfert de l'échantillon dans le récipient d'entreposage.
- On devrait rincer à fond l'échantillonneur et l'équipement d'échantillonnage avec l'eau de la station d'échantillonnage, entre les prélèvements à cet endroit, et avec l'eau de la prochaine station d'échantillonnage, avant d'y prélever un échantillon. On doit également rincer à fond l'équipement utilisé pour la manutention des sédiments entre les prélèvements.
- L'échantillon doit satisfaire aux critères d'acceptabilité (p. ex., cf. § 2.5.4) avant d'être considéré comme adéquat.

Prélèvement d'eau de porosité

- Pour les études géochimiques, il est recommandé de prélever sur place l'eau de porosité (§ 2.6), mais pour les essais de toxicité répétitifs, cette eau peut être extraite au laboratoire par centrifugation des échantillons de sédiment (§ 2.3.5).

Manutention des échantillons

- Tous les échantillons doivent être manutentionnés conformément au programme d'assurance et de contrôle de la qualité et aux objectifs de qualité des données.

- Dans le cas des échantillons judiciaires, il faut se conformer à la bonne marche à suivre (§ 2.8.3) et établir la chaîne de possession (annexe H).
- Comme le sédiment pourrait renfermer un mélange de substances dangereuses, le minimum de prudence commande qu'on se protège au moyen de vêtements et de matériel de protection (p. ex., gants, bottes, blouse ou tablier de laboratoire, lunettes de protection et respirateur) durant l'échantillonnage, la manutention de l'échantillon et la préparation des prises d'essai.
- Un protocole d'intervention contre les déversements devrait être établi dans les laboratoire ou sur le bateau d'échantillonnage, et la participants au projet devraient bien connaître toutes les recommandations et les marches à suivre.
- L'élimination de tous les déchets dangereux devrait se faire conformément aux règlements ou aux arrêtés en vigueur.
- Les échantillons devraient être manipulés dans un endroit bien aéré (p. ex., à l'extérieur, sous une hotte ou dans une boîte à gants), pour réduire au minimum l'inhalation des gaz que renferment les sédiments ou le contact avec ces gaz.
- Les plans de travail devraient être recouverts de feuilles de Teflon®, de plateaux de polyéthylène haute densité ou d'autres matériaux imperméables ou jetables, tout aussi inertes.

- Si la carotte doit être transportée intacte au laboratoire dans sa gaine, le volume de l'eau sus-jacente devrait être réduit au minimum; une description de la carotte et les observations faites sur son aspect

devraient figurer dans les notes de terrain. Les gaines doivent être fermées hermétiquement, l'air en ayant été chassé, puis être maintenues en position verticale dans un récipient de transport isolé renfermant de la glace. Si des bulles de méthane ou de dioxyde de carbone risquent de perturber le sédiment, retirer l'eau sus-jacente dans le minute suivant la récupération de la carotte.

- Le sous-échantillonnage du sédiment, s'il est nécessaire, devrait avoir lieu dans les 24 heures qui suivent le prélèvement et devrait se limiter aux parties de l'échantillon qui ne sont pas entrées en contact direct avec l'échantillonneur.
- Les carottes devraient être sous-échantillonnées par extrusion, les autres échantillons de sédiment l'étant au moyen d'outils propres et non réactifs (p. ex., petites pelles à revêtement de Teflon®).
- Les échantillons de carottiers à boîte devraient être sous-échantillonnés avec un carottier à main ou une petite pelle dans les 5 cm supérieurs et, dans les horizons inférieurs, avec un carottier à main.
- L'obtention d'échantillons composés ou de sous-échantillons dépend des objectifs de l'étude. S'il faut obtenir des échantillons ou des sous-échantillons composés, on peut les préparer sur place ou au laboratoire. Avant d'analyser un échantillon ou un sous-échantillon composé ou de l'utiliser pour un essai, il faudrait l'homogénéiser dans un mélangeur mécanique ou à la main, jusqu'à l'obtention d'une couleur et d'une texture uniformes ou pendant une durée précise qui aura été déterminée expérimentalement.

- Si le maintien d'un milieu sans oxygène est prévu dans le plan de l'étude pour la manutention du sédiment, il faudrait manutentionner les sédiments exempts d'oxygène dans une boîte à gants, en présence d'un gaz inerte.

Récipients à échantillon

- On recommande des récipients faits ou garnis de Teflon® pour entreposer les sédiments entiers, quelle que soit la nature des contaminants d'intérêt.
- Des récipients de verre ambré et d'acier inoxydable à large ouverture et à couvercle garni de Teflon® conviennent à l'entreposage des sédiments entiers potentiellement contaminés par des substances organiques (tableau 7).
- Des récipients de polyéthylène haute densité ou de verre borosilicaté à large ouverture conviennent à l'entreposage des sédiments entiers potentiellement contaminés par des substances inorganiques (tableau 7).
- Des contentants de verre ambré fermés par un disque-cloison garni de Teflon® devraient servir à garder l'eau interstitielle ou l'eau de porosité dont on analysera la teneur en matières organiques halogénées, aromatiques ou volatiles (tableau 7).
- Les échantillons que l'on veut soumettre à l'analyse des métaux ne devraient pas entrer en contact avec le chlorure de polyvinyle, le nylon, le verre sodocalcique et le verre flint ou les matières métalliques, y compris l'acier inoxydable.
- Les échantillons que l'on veut soumettre à l'analyse des composés organiques, notamment des pesticides, ne devraient pas

entrer en contact avec le Plexiglas, le caoutchouc, le néoprène, le polystyrène, les surfaces peintes ou les plastiques basse densité.

- Les récipients à échantillon doivent être préalablement traités avant de recevoir un prélèvement (tableau 8), et le prétraitement de tous les récipients doit être effectué par des personnes expérimentées.
- Si l'on veut entreposer les échantillons à 4° C, il faudrait remplir les récipients jusqu'au bord et en expulser l'air au cours de la fermeture. Si les échantillons doivent être congelés, il ne faudrait pas remplir complètement les récipients qui ne peuvent pas résister à la dilatation de l'échantillon au cours de la congélation; pour absorber cette dilatation, on devrait laisser un vide d'environ 2,5 cm, qu'on devrait remplir d'un gaz inerte.
- Les étiquettes doivent indiquer l'emplacement et la station d'échantillonnage, le type d'échantillon, la méthode de prélèvement, le nom de la personne qui a fait le prélèvement ainsi que la date et l'heure du prélèvement.
- Pour ce qui concerne les échantillons prélevés à des fins réglementaires ou judiciaires, les récipients doivent être scellés avec un ruban et être accompagnés de la documentation requise (*cf.* § 2.8.3).

Transport des échantillons

- Les récipients de transport devraient être réfrigérés à $4 \pm 2^\circ \text{C}$ ou renfermer de la glace ou des sacs réfrigérants qui permettront de maintenir la température des échantillons sous 7°C durant le transport jusqu'au laboratoire.

- Si les échantillons prélevés sont chauds (p. ex., $>7^\circ \text{C}$), on devrait les amener à une température de 1 à 7°C avec de la glace avant de les mettre dans le récipient de transport.
- Au cours du transport, les échantillons ne doivent pas geler.
- On devrait insérer un thermomètre à maxima et minima ou un thermographe dans le récipient, puis fermer hermétiquement celui-ci. On devrait signaler les écarts de température.
- La lumière ne devrait pas pénétrer dans le récipient de transport.
- Pour ce qui concerne les échantillons judiciaires, il faut remplir les documents établissant la chaîne de possession et les documents du ministère des Transports, puis les joindre aux récipients de transport pour qu'ils accompagnent les échantillons. Chaque récipient à échantillon doit être scellé par un ruban qui prouve qu'il n'a pas été ouvert au cours du transport, et le récipient de transport doit rester verrouillé durant le transport (*cf.* § 2.8.3).
- Tous les échantillons qui exigent un traitement préalable avant d'être entreposés doivent être transportés au laboratoire dans les 72 heures, de préférence dans les 24 heures, qui suivent le prélèvement.

Entreposage des échantillons

- La durée d'entreposage devrait être réduite au minimum.
- Les échantillons de sédiment entier destinés aux essais biologiques doivent être réfrigérés à l'obscurité, à $4 \pm 2^\circ \text{C}$,

dans des récipients bien fermés et sans agent de conservation, pour une durée qui, de préférence, ne devrait pas dépasser deux semaines mais peut atteindre un maximum de six semaines.

- Les sédiments exclusivement destinés à des analyses chimiques peuvent être entreposés à l'obscurité, à $4 \pm 2^\circ \text{C}$, dans des récipients scellés en matériau inerte, avec ou sans agent de conservation. Ils devraient être analysés dans les deux semaines suivant le prélèvement; sinon, on peut les congeler à -20°C , mais on ne pas les garder plus de six mois.
- Les échantillons d'eau de porosité devraient immédiatement être analysés ou utilisés pour des essais biologiques.
- La surveillance en continu des conditions d'entreposage doit faire partie du programme d'assurance et de contrôle de la qualité.
- L'entreposage temporaire des échantillons sur le terrain est possible dans des unités réfrigérées à bord des bateaux, dans les congélateurs ou les réfrigérateurs d'une installation locale à terre ou dans des récipients isolés remplis de glace ou de sacs réfrigérants.

Préparation des prises d'essai

- La préparation des sédiments exempts d'oxygène devrait se faire dans une boîte à gants, sous un courant contrôlé d'un gaz inerte, si l'on souhaite maintenir l'absence l'oxygène.
- La préparation des prises d'essai devrait se faire dans un milieu bien ventilé (p. ex., sous une hotte), et on devrait prendre les précautions utiles pour la protection de la santé et de la sécurité.

La préparation des prises d'essai pourrait exiger les manipulations suivantes :

a) Extraction des organismes indigènes avec des pincettes, tamisage sous pression ou tamisage par voie humide

Tri manuel (§ 2.9.1)

- On peut séparer la macrofaune indigène des sédiments par tri manuel à l'aide de pincettes ou par tamisage sous pression des sédiments des milieux d'eau douce, estuariens et marins.

Tamisage sous pression ou par voie humide (§ 2.9.1)

- Préalablement au tamisage, on devrait placer le sédiment sur un plateau de triage fait d'un matériau inerte, et extraire à l'aide de pincettes les roches et autres débris.
- S'il faut tamiser des sédiments marins, estuariens ou d'eau douce (l'opération devrait être évitée dans la mesure du possible), on devrait choisir la taille des ouvertures du tamis en tenant compte de l'essai de toxicité et de l'organisme d'expérience, des prédateurs ou des organismes concurrents qui pourraient être présents ainsi que de la nature de l'échantillon (p. ex., granulométrie, quantité et taille des débris).
- Pour la sélection des tamis, on devrait prendre en considération les critères qui servent à la sélection des récipients à échantillon (§ 2.8.1), afin de réduire au minimum ou d'atténuer la contamination et l'adsorption. L'emploi de tamis de laiton est déconseillé. On ne devrait pas ajouter d'eau à un sédiment pendant son tamisage.

- Si l'on tamise les sédiments, il est recommandé d'en déterminer les propriétés physicochimiques avant l'opération, puis après, afin de noter les modifications attribuables à l'opération. Il pourrait être nécessaire d'effectuer des essais de toxicité comparatifs avec le sédiment brut et le sédiment tamisé, pour faire ressortir l'effet du tamisage sur la toxicité du sédiment.

b) Homogénéisation et répartition du sédiment dans les récipients d'essai (§ 2.9.1).

Homogénéisation

- Pour obtenir une couleur, une texture et une teneur en humidité qui soient homogènes, on peut recourir au brassage manuel ou mécanique; toutefois, l'efficacité de la méthode doit être démontrée a priori, et il faut normaliser la durée du brassage pour assurer la cohérence des résultats et la réduire au minimum pour altérer et le moins possible la répartition granulométrique des particules de sédiment.
- Le brassage des sédiments devrait se faire dans le récipient à échantillon ou le récipient d'entreposage, ou encore dans un contenant de mélange propre.

Répartition

- La technique recommandée de répartition du sédiment entre les récipients d'essai est le quartage. Si l'on se sert d'un répartiteur de sédiment, il faut en démontrer l'efficacité. Le dispositif doit être fait d'un matériau inerte adéquat.

c) Séchage (§ 2.9.2)

- Le séchage au four de sous-échantillons de sédiment (de 1 à 5 g de sédiment humide) à basse température (de 40 à 60° C) jusqu'à l'obtention d'un poids constant ou lyophilisation sont les méthodes recommandées de séchage des sédiments. À noter que le séchage préalable à l'analyse risque d'entraîner la perte de composés organiques et de diminuer l'efficacité de l'extraction (Windsor et Hites, 1979; Haddock *et al.*, 1983).

d) Concassage ou broyage (§ 2.9.2)

- On recommande les broyeurs à boulets et à galets offerts dans le commerce pour le broyage fin des petits volumes de sédiment (Mudroch et MacKnight, 1991); toutefois, on devrait savoir que l'opération risque de modifier les propriétés chimiques de l'échantillon. Le concassage peut habituellement se faire au pilon, dans un mortier.

e) Extraction de l'eau de porosité (§ 2.9.3)

- La centrifugation suivie de la décantation du surnageant est la méthode recommandée pour extraire l'eau de porosité des échantillons de sédiment. La vitesse de centrifugation dépend de la taille de l'échantillon (p. ex., masse ou volume de sédiment).

Marche à suivre pour les études sur l'immersion en eau libre

3.1 Introduction

Le Canada réglemente l'immersion des déchets en mer par un mécanisme de permis et d'inspections appliqué par Environnement Canada conformément à la partie VI de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, adoptée en juin 1988. En tant que telle, la partie VI (auparavant la *Loi sur l'immersion de déchets en mer*) met en vigueur au pays les dispositions de la Convention de Londres, un accord international sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et d'autres matières.

Pour obtenir un permis d'immersion en mer, le demandeur doit, entre autres choses, remplir une demande sous la forme exigée dans le *Règlement sur l'immersion de déchets en mer* (cf. demande de permis, annexe H). Les renseignements exigés de lui consistent généralement en une description des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des matières destinées à l'immersion.

Le lieu d'immersion doit être évalué s'il est nouveau ou si l'on ne possède pas de données récentes sur ses caractéristiques. Le demandeur pourrait être tenu de fournir des renseignements sur les sédiments et leurs communautés benthiques, tant pour le lieu d'immersion que pour le lieu de dragage. Le prélèvement et l'analyse de sédiments sont exigés pour les besoins des évaluations physicochimiques et biologiques (figure 8).

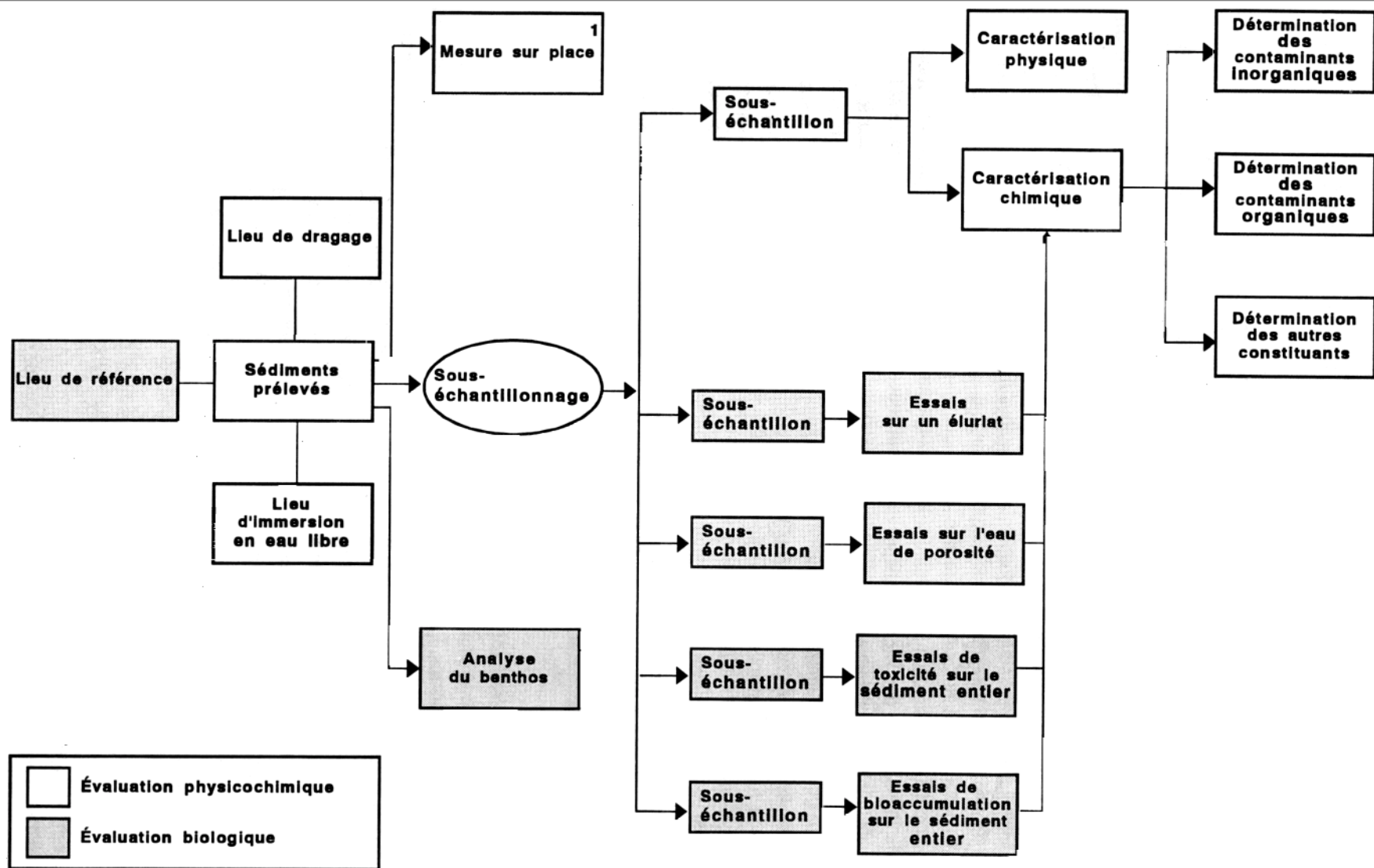
Environnement Canada a fourni les directives qui suivent sur le prélèvement, l'entreposage et la manipulation des

échantillons de sédiment à l'appui des demandes de permis d'immersion en mer. Ces directives sont nécessaires parce que les manipulations, depuis le prélèvement jusqu'à l'analyse, influent fortement sur les propriétés physique, chimiques et toxicologiques du sédiment. On veut également améliorer la comparabilité, la cohérence et la fiabilité des données qu'on obtient sur les sédiments d'un bout à l'autre du Canada. En outre, les demandeurs devraient consulter le *Guide d'utilisation de la formule "Demande de permis (immersion en mer)"* (EC, 1995a) avant d'entreprendre des travaux de terrain.

La troisième section du présent document indique la marche à suivre pour la sélection des stations d'échantillonnage et pour le prélèvement, la manutention, le transport, l'entreposage et la manipulation des sédiments destinés à la caractérisation physicochimique, aux essais de toxicité ou à l'évaluation de la bioaccumulation potentielle des contaminants, afin de satisfaire aux formalités d'obtention d'un permis d'immersion en mer. Les recommandations qu'on y trouvera peuvent être étoffées par les renseignements fournis dans la section 2 ou dans les annexes. Au besoin, le texte renvoie aux passages utiles.

3.2 Objet de l'étude

L'étude en vue de l'immersion en eau libre vise à fournir les renseignements minimaux exigés pour l'obtention d'un permis d'immersion en mer (annexe H). Son objet devrait être clairement précisé et intégré dans le programme d'échantillonnage en tant qu'élément du plan de l'étude.



1. On trouvera des précisions sur les mesures dans le § 2.4.

Figure 8 Utilisations potentielles des sédiments prélevés sur les lieux de dragage, d'immersion et de référence

3.3 *Délimitation de la zone d'étude et du lieu de l'étude*

La zone d'étude englobe le lieu de l'étude (p. ex., le lieu de dragage) et les secteurs contigus (à terre ou dans l'eau) qui pourraient influencer sur l'état du lieu de l'étude. Ce dernier peut être soit le lieu de dragage, soit l'étendue d'eau qui recevra les matières draguées (p. ex., lieu d'immersion). La zone d'étude et le ou les lieux de l'étude devraient être clairement délimités et dessinés sur une carte adéquate (cf. parties B et F de la demande de permis, à l'annexe H, pour des précisions supplémentaires).

3.3.1 *Plan d'échantillonnage*

Recommandation

- Le programme d'échantillonnage devrait être réalisé en consultation avec le Bureau de l'immersion en mer avant le début de tout travail.

Le plan d'échantillonnage fait partie intégrante du plan de l'étude. La marche à suivre pour l'élaboration du plan de l'étude est présentée dans le § 2.3. Nous donnons ci-après des renseignements supplémentaires sur les plans d'échantillonnage concernant des travaux de dragage.

Il faut établir un plan d'échantillonnage pour répondre aux objectifs précis du projet. Les renseignements qu'il comporte seront exigés dans la partie D de la "Demande de permis (immersion en mer)" (annexe H). Si l'on possède des données récentes (datant des quatre dernières années), on peut s'en servir pour remplir la partie E de la demande (annexe H). Le plan devrait traiter des points suivants :

- examen des données historiques;

- nombre, emplacement et description des stations d'échantillonnage;
- types d'échantillons à prélever;
- nombre d'échantillons à prélever;
- nombre d'échantillons répétés par station d'échantillonnage;
- volume ou masse de sédiment par échantillon à prélever et profondeur souhaitée d'échantillonnage et de pénétration;
- méthode de prélèvement, type d'échantillonneur et type de récipient d'entreposage;
- type d'analyse;
- méthodes de préservation des échantillons;
- méthode et conditions d'entreposage des échantillons sur le terrain et au cours de leur transport vers le laboratoire;
- méthode d'entreposage des échantillons au laboratoire;
- programmes d'assurance et de contrôle de la qualité et objectifs de qualité des données (CCME, 1993; USEPA, 1991).

En outre, il faudrait s'attacher aux exigences opérationnelles suivantes :

- plan de santé et sécurité pour le prélèvement des échantillons sur le terrain;
- désignation et responsabilités du personnel;

- logistique des opérations concrètes (p. ex., véhicules, main-d'oeuvre, équipement, chronologie des travaux, distance entre le lieu les prélèvements et le laboratoire);
- plans d'intervention d'urgence en cas de perte ou de panne de l'équipement;
- personnel de relève (p. ex., en cas de mal de mer);
- conditions extérieures (p. ex., courants, marées, variation du substrat, bathymétrie récente);
- photographie(s) du ou des lieux de l'étude et de la zone d'étude.

3.3.2 *Données historiques, détermination des sources potentielles, état actuel*

Afin de déterminer l'emplacement des stations d'échantillonnage des sédiments pour les besoins d'un plan d'échantillonnage propre à un lieu de dragage ou d'immersion particulier, il faudrait évaluer toutes les données historiques disponibles. Outre les renseignements dont il a été question au § 2.3.2, ces données devraient comprendre les archives des commissions municipales ou portuaires, les rapports des organismes gouvernementaux, les levés hydrographiques, les cartes bathymétriques et les demandes antérieures de permis d'immersion en mer. Fondamentalement, le lieu de l'étude devrait être divisé à l'aide de tous les renseignements (sources possibles de contaminants, zones d'activité maritime, données géotechniques, géochimiques ou hydrographiques) qui aident à déterminer les zones où des contaminants sont susceptibles d'être trouvés, où on en a effectivement trouvé dans le passé ou encore où les particules fines sont susceptibles de s'accumuler. Dans les matières draguées, les contaminants d'intérêt comprennent des contaminants inorganiques (p. ex., métaux et métalloïdes) et organiques (hydrocarbures

pétroliers, BPC, HAP, pesticides et solvants); toute les sources possibles devraient donc être prises en considération. Ces paramètres font partie de la Liste des substances interdites qui figure dans la partie I de l'annexe III de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. On consultera les parties I, II et III de cette annexe pour connaître d'autres substances interdites et réglementées et d'autres substances interdites et réglementées et d'autres facteurs à prendre en considération. Les renseignements minimaux à fournir sont décrits sur la formule de demande de permis (annexe H).

3.3.3 *Méthodes de détermination de l'emplacement des stations d'échantillonnage*

Les méthodes générales de détermination de l'emplacement des stations d'échantillonnage ont été décrites dans les § 2.3.3 et 2.3.4. La même marche à suivre s'applique ici, avec certaines exigences propres aux travaux de dragage. Le but est de prélever des échantillons de sédiment qui seront représentatifs du lieu de l'étude et de la zone d'étude.

Lieu de dragage. Ses caractéristiques influenceront considérablement sur la répartition des stations d'échantillonnage dans le lieu de l'étude. Le lieu de dragage peut être considéré comme une zone homogène (c'est-à-dire, à l'intérieur de laquelle la répartition du type de sédiment ou des contaminants est uniforme). On peut aussi souvent le diviser en zones (ou strates)* selon la répartition antérieure (ou potentielle) des contaminants, la configuration des lieux ou le type de

* Les termes "strate" et "stratification" sont employés selon leur définition en statistique et signifient zone ou région. Ils ne signifient pas une division ou un profil vertical.

substrat. En outre, on pourrait distinguer les sédiments de surface des sédiments sous-jacents, si l'on s'attend à observer un gradient vertical de contamination.

Beaucoup de lieux de dragage présentent des variations spatiales considérables de la concentration des contaminants dans les sédiments. Ces écarts sont souvent liés aux sources de contamination et aux caractéristiques des lieux. Il est donc habituellement souhaitable de diviser les lieux en plusieurs zones selon les sources possibles de contamination et les renseignements antérieurs que l'on possède sur les concentrations de contaminants ou les caractéristiques des sédiments. Pour les projets de taille très modeste, la stratification peut ne pas être indiquée, à moins qu'il n'existe des signes évidents d'écarts considérables dans les concentrations probables de contaminants. Les grands projets devraient toujours être stratifiés. Si le projet est déjà divisé en secteurs distincts, chacun de ces derniers devrait être considéré comme une strate.

Le nombre total d'échantillons exigé par zone (ou pour un petit projet non stratifié) est donné dans l'annexe G. On propose de classer les zones selon les étiquettes suivantes : "vraisemblablement contaminées", "potentiellement contaminées", "probablement propres". Lorsque l'on possède sur les caractéristiques chimiques des sédiments des données historiques étayant ce classement, on peut réduire le nombre d'échantillons à prélever dans les zones vraisemblablement contaminées et probablement propres. Les données historiques à l'appui de cette décision seront considérées comme adéquates si les prélèvements ont eu lieu dans les quatre dernières années, si le nombre d'échantillons satisfait aux exigences actuelles et si les

caractéristiques du lieu n'ont pas changé (p. ex., aucune source nouvelle de pollution, aucun changement dans les modes d'utilisation). Si tout est conforme à ces exigences, on peut réduire de moitié le nombre d'échantillons prévu à l'annexe G pour les zones vraisemblablement contaminées et probablement propres.

Si l'on manque de bonnes données historiques sur les propriétés chimiques des sédiments, on devrait prélever dans chaque zone le nombre d'échantillons précisé dans l'annexe G; la stratification se fonderait alors sur des renseignements indirects (p. ex., sources possibles de contaminants, zones d'activité maritime, données géotechniques ou hydrographiques, configuration de la région ou du port).

Si les résultats (p. ex., concentration moyenne d'une substance à analyser) dans une zone vraisemblablement contaminée se révèlent inférieurs aux limites prescrites pour l'immersion en mer, on peut avoir besoin de prélever des échantillons additionnels, jusqu'au nombre indiqué dans l'annexe G, avant de prendre une décision. De même, si les résultats obtenus dans une zone "probablement propre" se révèlent supérieurs aux limites prescrites pour l'immersion en mer, des prélèvements additionnels peuvent être nécessaires avant la prise d'une décision.

Si les matières à draguer sont d'une granulométrie très hétérogène, une division granulométrique (limon, sable et gravier) peut également être souhaitable. Si une zone de gravier est reconnue, aucun prélèvement n'y est nécessaire; toutefois, on devrait l'explorer pour y découvrir des "poches" de matières plus fines. Si l'on trouve de telles poches, on peut les

considérer comme une zone supplémentaire et les échantillonner à ce titre.

On recommande de déterminer au hasard l'emplacement des stations d'échantillonnage dans les projets non stratifiés ou dans chaque strate prise individuellement. À cette fin, on divise le projet (ou la zone) en éléments carrés appelés quadrats. Il devrait y avoir au moins cinq fois plus de quadrats qu'il faut de stations d'échantillonnage. Ce quadrillage du projet est une façon pratique d'établir une grille de sélection d'un échantillon aléatoire. Le nombre de stations d'échantillonnage (dans l'hypothèse d'un échantillon par station) requise selon le volume à draguer dans le projet ou la zone est donné dans l'annexe G. Aucun projet (ni aucune zone) ne devrait compter moins de six stations d'échantillonnage (sauf lorsque s'applique la règle de la moitié). Dans une zone (ou un projet) potentiellement contaminée, il est très souhaitable de prélever plus que le minimum d'échantillons, ce qui fera croître le nombre de stations d'échantillonnage (Skei, 1992).

Des précisions sur le choix de l'emplacement des stations d'échantillonnage, relativement à trois types de projets de dragage, sont données dans les exemples ci-après.

PREMIER EXEMPLE. Répartition inconnue de la contamination, pas de stratification

La figure 9 montre la configuration des quadrats pour un projet non stratifié relativement simple : le dragage de 20 000 m³ de sédiments. Il faut donc prélever huit échantillons (annexe G), et le projet doit être divisé en au moins 40 quadrats. Ces derniers doivent couvrir tout le site. Un quadrat est pris en considération dans le processus de sélection si au moins la moitié de sa superficie fait partie de la zone à draguer. Chaque quadrat est numéroté, et les quadrats à

échantillonner sont choisis de façon aléatoire (à l'aide de tables de nombres aléatoires ou d'un générateur de nombres aléatoires). Habituellement, on prélève un échantillon de sédiment au centre de chacun des quadrats retenus. Le nombre minimal de quadrats pour le projet est de 40, mais on en a établi 44 afin de couvrir adéquatement la zone à draguer.

EXEMPLE 2. Zones potentiellement contaminées, mais sans données historiques : stratification simple

La figure 10 montre un exemple simple pour lequel la stratification est souhaitable. Il faut draguer 40 000 m³ de sédiments dans deux secteurs : le port intérieur (30 000 m³) et l'avant-port (10 000 m³). Le port intérieur est potentiellement contaminé du fait de la présence des docks et d'un émissaire d'évacuation et parce qu'il est fermé. L'avant-port est peut-être moins contaminé, mais il est néanmoins considéré comme potentiellement contaminé, en raison des activités d'amarrage au quai public et de la présence de la voie de halage et du quai de chargement. Pour un projet de cette taille, on conseille de prélever neuf échantillons dans le port intérieur et six dans l'avant-port (annexe G). Le port intérieur devrait être subdivisé en au moins 45 quadrats, et l'avant-port en au moins 30 quadrats. Dans chaque zone, on choisira les quadrats au hasard, et les stations d'échantillonnage seront situées au centre de chaque quadrat choisi.

EXEMPLE 3. Zones potentiellement contaminées avec données historiques, zones vraisemblablement contaminées et zones probablement propres.

La figure 11 montre une situation où des zones vraisemblablement contaminées coexistent avec des zones probablement

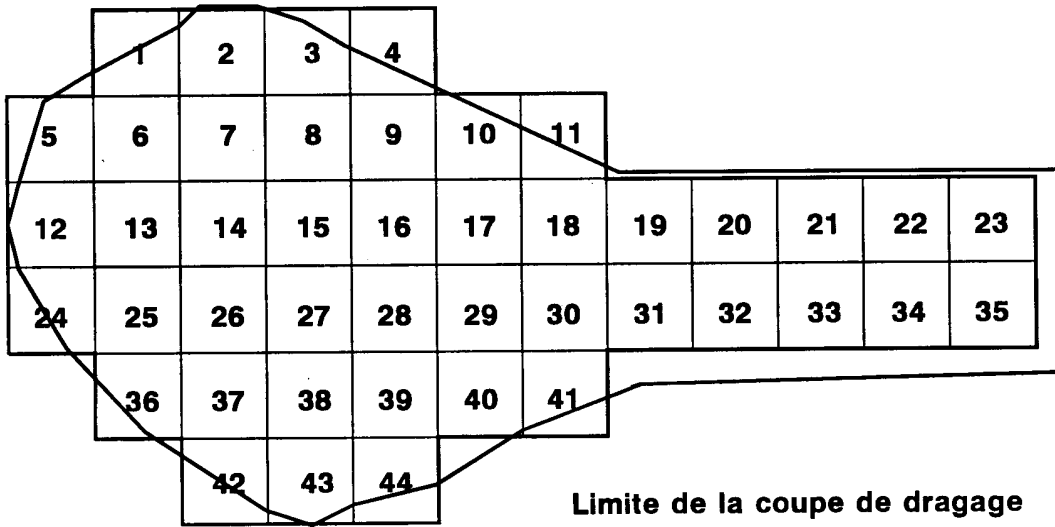


Figure 9 Établissement des quadrats pour le choix des stations d'échantillonnage dans un projet non stratifié

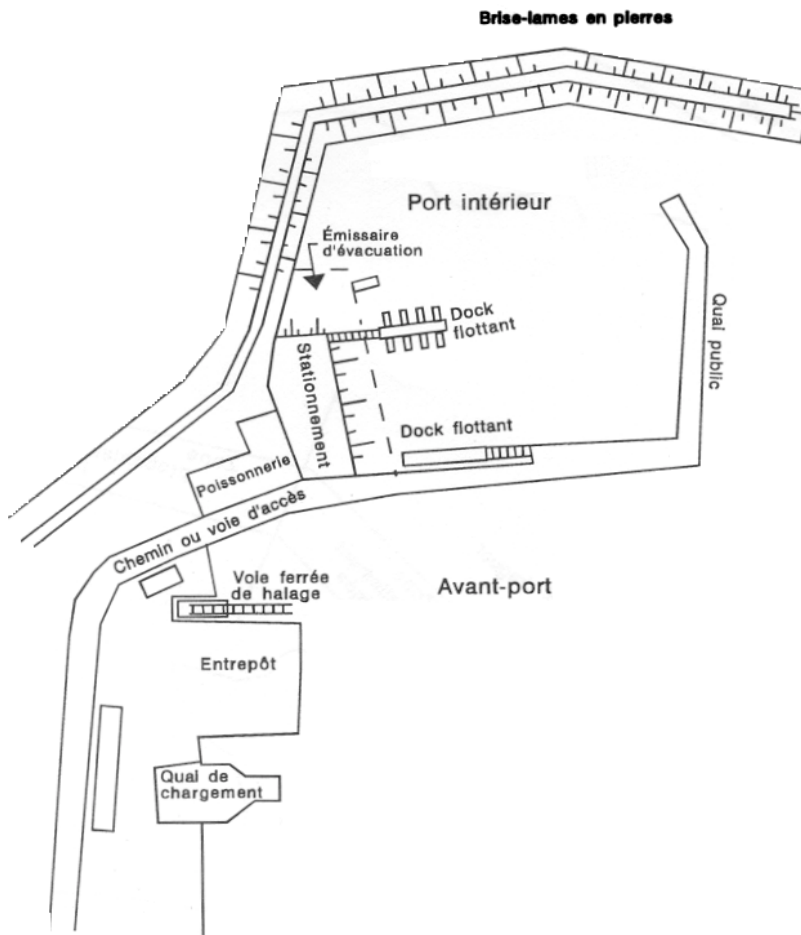


Figure 10 Projet de dragage comportant des zones potentiellement contaminées

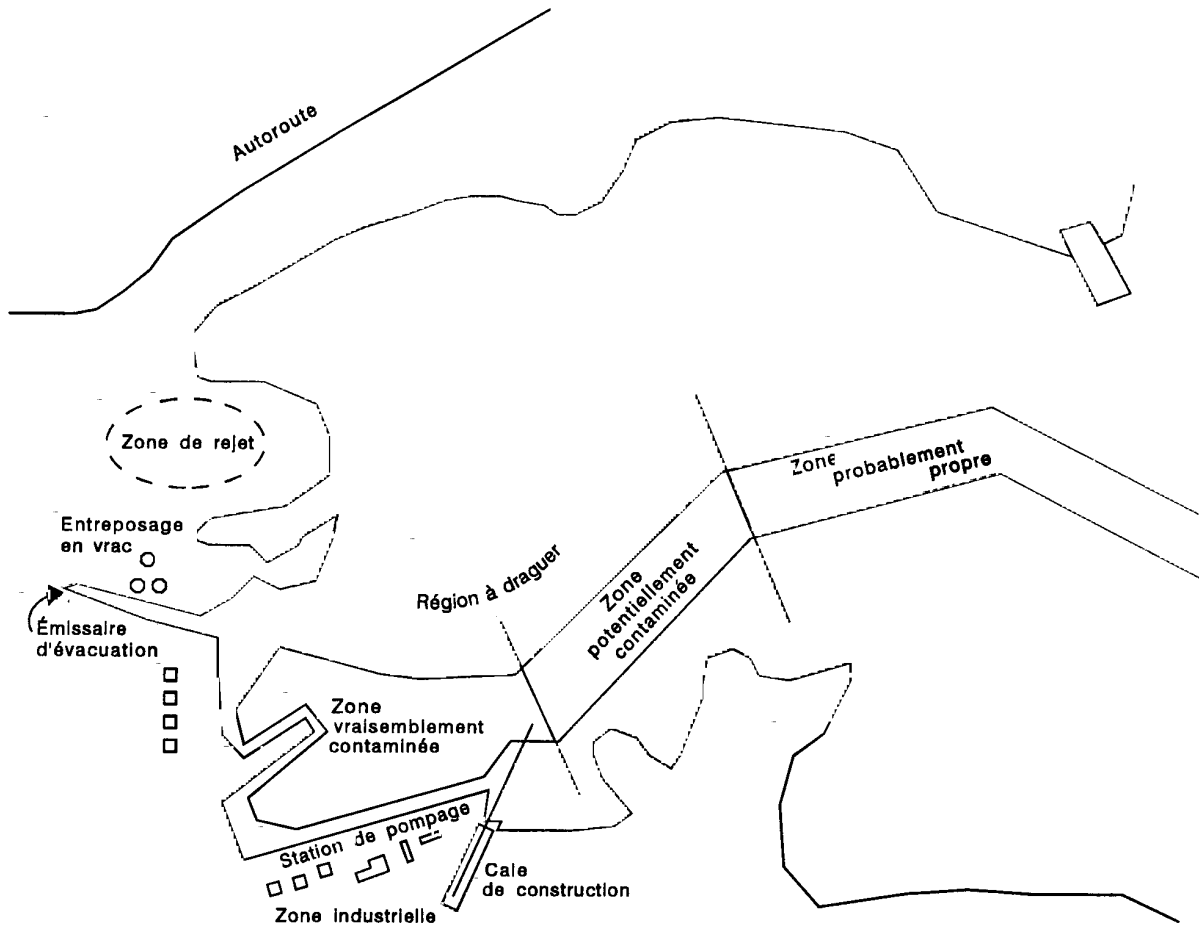


Figure 11 Projet de dragage combinant stratification et données historiques pour la détermination du nombre et de l'emplacement des stations d'échantillonnage

propres. La zone portuaire compte, abstraction faite de l'activité maritime évidente, d'autres sources de contamination. Dans le chenal, on ne distingue aucune source évidente de contaminants. D'après les données historiques, les concentrations de contaminants seraient inacceptables (supérieures aux limites autorisées pour l'immersion en mer) dans la zone vraisemblablement contaminée, plus faibles (à peine inférieures aux limites autorisées) dans la zone potentiellement contaminée et très faibles dans la zone probablement propre. Cette situation se prête à un découpage en trois zones : le port intérieur, la zone potentiellement contaminée et le

reste du chenal. Le volume à draguer (c'est-à-dire, la taille du projet) est d'environ 200 000 m³ (90 000 dans le port intérieur, 36 000 dans la zone potentiellement contaminée et 74 000 dans le chenal).

Comme on possède de bonnes données historiques, on considérera les résultats obtenus dans le port (vraisemblablement contaminé) et le chenal (probablement propre) comme des données de confirmation; en conséquence, le nombre final d'échantillons à prélever sera la moitié du nombre conseillé dans l'annexe G (tableau 10). Pour déterminer l'emplacement de chaque station

Tableau 10 Nombre de quadrats à échantillonner dans un projet de dragage stratifié en fonction de données historiques et de zones de potentiellement contaminées

Secteur	Volume de sédiment dans chaque secteur (m ³)	Nombre de base* d'échantillons par secteur (annexe G)	Nombre définitif* d'échantillons par secteur
Port intérieur	90 000	17	9
Zone potentiellement contaminée	36 000	10	10
Chenal	74 000	15	8
Total	200 000	42	27

* Un échantillon de sédiment est prélevé dans chaque station; le nombre d'échantillons égale donc le nombre de stations d'échantillonnage.

S'échantillonnage, on devrait diviser la zone portuaire en au moins 45 quadrats, et les stations d'échantillonnage sont situées au centre de chacun d'eux.

Cet exemple montre comment recourir à la stratification lorsque l'on possède des renseignements généraux sur l'état du lieu de dragage qui peuvent être combinés à des données historiques. Celle-ci peuvent souvent constituer une base objective de la délimitation des zones, pour procurer une estimation plus précise de la répartition des contaminants.

Lieu d'immersion. Les renseignements minimaux dont on a besoin pour la sélection des nouveaux lieux d'immersion sont indiqués dans la demande de permis d'immersion de matières draguées en mer (annexe H). La question de la surveillance après l'immersion est traitée dans les *Directives provisoires sur la surveillance dans le cadre de l'immersion en mer* (EC, 1993). En principe, le choix d'un nouveau lieu d'immersion comporte la description et la caractérisation du lieu projeté, compte

tenu des caractéristiques de dispersion qu'il faut connaître afin de prédire l'étendue de la zone de dépôt. Les modèles de transport des sédiments peuvent servir à cette fin. Les renseignements à fournir pour la sélection d'un lieu acceptable d'immersion constituent également des données de référence qu'on pourra comparer aux résultats obtenus grâce à la surveillance après l'immersion. Les conseils ci-après concernent précisément les renseignements minimaux dont on a besoin pour la sélection de nouveau lieux d'immersion.

Le choix de l'emplacement des stations d'échantillonnage dans un lieu donné dépend, dans une grande mesure, des caractéristiques de dispersion dans ce lieu; on devrait retenir les zones les plus susceptibles de subir les contrecoups de l'immersion des matières draguées. Une fois immergées, ces matières peuvent être transportées sous l'effet combiné des courants engendrés par le vent, des vagues et des marées, de la bathymétrie, de la profondeur de l'eau et de la vitesse variable des courants. En conséquence, il faut

obtenir des renseignements adéquats pour chacun de ces facteurs. On aura également besoin de renseignements sur la salinité.

On pourra consulter le ministère des Pêches et Océans, le Bureau de l'immersion en mer du ministère de l'Environnement, le Service hydrographique du Canada, le Secteur de l'océanographie côtière de Ressources naturelles Canada et les sources locales pour obtenir des données historiques et actuelles. Les modèles de dispersion (p. ex., le modèle ADDAMS [*Automated Dredging and Disposal Alternatives Management System*], ou système automatisé de gestion des possibilités de dragage ou d'immersion) sont également utiles pour prédire les concentrations des constituants des matières draguées en solution et en suspension dans l'eau, la durée que prendront ces matières pour toucher le fond et le rayon ainsi que la direction du panache formé par les matières draguées (USEPA, 1991). La clé de l'efficacité de ces modèles consiste à leur fournir des données qui décrivent la région de la façon la plus précise possible. On peut également trouver d'autres conseils sur l'emploi des modèles de transport des sédiments dans le document *Draft Technical Guidance on Physical Monitoring* (EC, 1994a).

Le nombre d'échantillons et la position des stations d'échantillonnage peuvent être déterminés, sur chaque lieu, à partir des résultats d'études préliminaires d'échantillonnage, des données historiques disponibles et de l'analyse de la puissance statistique. Les renseignements supplémentaires à prendre en considération sont décrits dans la partie F de la formule de demande (annexe H). Faute de pouvoir procéder à un échantillonnage préliminaire (p. ex., étude à l'échelle pilote), on peut appliquer au lieu d'immersion la marche à suivre décrite dans le § 3.3.3. Des modèles

du transport des sédiments pourraient aider à prévoir la superficie initiale de la zone de dépôt, à partir de laquelle on peut délimiter le lieu d'immersion (EC, 1993 et 1994a).

Il faut déterminer l'emplacement de toutes les stations d'échantillonnage au moyen de coordonnées précises sur une carte représentant le lieu d'immersion et le situant relativement aux points de repère proches (p. ex., la zone d'étude), afin que l'on puisse les visiter à l'étape de la surveillance. Les autres renseignements à faire figurer sur la carte sont mentionnés dans l'annexe H.

3.3.4 Méthodes de positionnement

L'emplacement de chaque prélèvement (p. ex., de sédiment, d'eau ou de benthos) doit être précis et exact; on recommande donc de n'employer que des méthodes dont l'exactitude est de 1 à 10 m. La description précise de l'emplacement d'un "point chaud" d'une opération de dragage est vitale pour tout prélèvement supplémentaire qui pourrait être exigé par la suite. Pour le positionnement des stations d'échantillonnage, on peut recourir à n'importe lequel des systèmes électroniques énumérés dans le tableau 2 qui possèdent une exactitude de 1 à 10 m.

3.3.5 Taille des échantillons, nombre d'échantillons, échantillons répétés

Taille des échantillons

Recommandations

- Déterminer le nombre d'échantillons à analyser pour chaque projet de dragage (figure 8), au cas par cas, puis calculer la masse ou le volume requis de sédiment par échantillon.
- Les tailles minimales recommandées des échantillons à prélever pour les divers

types d'analyses sont présentées dans le tableau 3. Comparer la quantité de sédiment requise (tableau 3) et la capacité de l'échantillonneur en regard de la quantité recherchée (tableau 5).

- Tenir compte du programme d'échantillonnage pour les besoins de l'assurance et du contrôle de la qualité ainsi que de l'archivage éventuel des échantillons. Si le carottier ne donne pas une carotte du volume exigé pour les essais de toxicité ou l'évaluation de la bioaccumulation, prélever des échantillons supplémentaires, puis les réunir en échantillons composés (§ 2.7.1). On peut également prélever des échantillons répétés et les intégrer dans le plan d'expérience.

Actuellement, pour obtenir un permis de chargement ou d'immersion de matières draguées, il faut que l'on ait caractérisé les propriétés physicochimiques des sédiments du lieu de dragage. Comme les essais biologiques revêtent de plus en plus importance pour la caractérisation des sédiments, il se pourrait qu'on les exige systématiquement à l'avenir. Dans le souci d'économiser temps et argent, il est donc recommandé de prélever suffisamment de sédiments durant le programme d'échantillonnage pour répondre aux besoins des évaluations physicochimiques et biologiques. Par exemple, si l'analyse chimique montre la nécessité d'une évaluation biologique, celle-ci doit porter sur le lot de sédiments qui a servi aux analyses chimiques. Si le demandeur n'a pas prélevé une quantité suffisante de sédiments ou un nombre adéquat d'échantillons sur le lieu de l'étude, il pourrait devoir faire d'autres prélèvements. Comme ces derniers constitueront un second lot, il faudra les soumettre à une nouvelle

caractérisation physicochimique. Il est donc avantageux de prévoir le prélèvement d'échantillons dont la taille et le nombre sont suffisants pour les besoins des évaluations biologiques et physicochimiques.

Nombres d'échantillons

Recommandations

- Le nombre minimal de stations d'échantillonnage à visiter pour les projets de dragage ou pour les zones de diverses tailles est donné à l'annexe G.
- Il est recommandé de prélever des échantillons supplémentaires de sédiments dans les zones les plus susceptibles d'être sous l'influence des centres urbains et des activités agricoles ou industrielles (c'est-à-dire, à proximité d'émissaires d'évacuation d'effluents industriels, d'eaux d'égout ou d'effluents urbains, de voies de navigation, d'aires de chargement et de déchargement, de points de soutage, d'aires de transbordement de produits chimiques, de zones réceptrices de bassins de drainage, d'aires d'estacades, de trains de bois, etc.).

Le nombre d'échantillons à prélever devrait dépendre de l'étendue du lieu d'immersion ou de dragage, du type de contaminants, du volume requis de sédiment, de la capacité de l'échantillonneur et du degré recherché de résolution statistique.

Même si le but consiste à obtenir suffisamment de renseignements pour évaluer les répercussions éventuelles du dragage et de l'immersion sur l'environnement, on tient compte des contraintes opérationnelles (p. ex., de

financement ou de temps). On peut s'y adapter en réduisant le nombre d'échantillons répétés que l'on prélève dans chaque station et en fondant la stratification sur les concentrations connues (ou potentielles) des contaminants afin d'accroître la précision de l'estimation de leurs concentrations.

Il est fortement recommandé d'optimiser le plan d'échantillonnage du projet et, si le plan d'analyse doit se plier à des contraintes, de faire approuver ces dernières par le Bureau de l'immersion en mer. En plus de prélever des échantillons de sédiment sur le lieu de dragage ou le lieu d'immersion, on devrait prélever au moins trois échantillons de sédiments de référence "non contaminés" dans au moins une station (deux de préférence) (*cf.* § 3.4.2).

Échantillons répétés

Recommandations

- Dans le cadre d'un projet de dragage, il n'est habituellement pas nécessaire de prélever des échantillons répétés dans une station d'échantillonnage.
- Pour les besoins du contrôle de la qualité, on peut prélever une quantité limitée d'échantillons répétés (à 10 % des stations d'échantillonnage).
- On devrait maintenir séparés les échantillons répétés (c'est-à-dire, les conserver dans des récipients à échantillon ou d'entreposage distincts).

Le prélèvement d'échantillons répétés dans une station d'échantillonnage donnée n'est habituellement pas nécessaire pour les projets de dragage parce que l'objectif est d'obtenir la meilleure estimation possible de

la concentration moyenne dans le lieu de dragage ou dans chaque strate. Dans presque tous les cas, on y parviendra en échantillonnant le plus possible de stations (sous réserve des contraintes de coût), en faisant une seule observation dans chaque station.

Le prélèvement d'échantillons répétés de sédiment dans une station donnée pourrait être dicté par le programme d'assurance et de contrôle et de la qualité qui aura été mis sur pied afin de satisfaire aux objectifs de qualité des données du Bureau de l'immersion en mer. En raison de leur grande surface et de la perturbation minimale des sédiments au cours du prélèvement, les sous-échantillons prélevés au moyen d'un carottier à boîte peuvent être considérés comme des échantillons répétés acceptables pour les besoins de l'assurance et du contrôle de la qualité. Les échantillons répétés d'une même station doivent vraiment en être. Ainsi les carottes dites répétées auront été prélevées au moyen d'un carottier multiple. Avec les bennes, on devrait prélever des échantillons multiples. Les échantillons répétés devraient être gardés séparément (c'est-à-dire, dans des récipients à échantillon ou d'entreposage distincts). Les échantillons prélevés par des plongeurs au moyen de carottiers à main devraient être prélevés le plus près possible du premier échantillon, afin d'être considérés comme des échantillons répétés. Si l'on détecte la présence d'un courant, les échantillons devraient être prélevés à contre-courant les uns par rapport aux autres.

Si un seul échantillon n'a pas la taille requise pour les analyses, il peut être nécessaire de prélever des échantillons répétés dans la même station et de les réunir en un échantillon composé, habituellement sur place.

En général, les échantillons prélevés à différentes stations ne devraient pas être réunis en un échantillon composé, puisque cela aboutira à la perte d'informations sur la zone échantillonnée. Pour ce qui concerne les analyses très coûteuses (p. ex., des dioxines et des furanes), on peut réunir un nombre limité d'échantillons ou de sous-échantillons en un échantillon composé, mais en s'efforçant alors de les grouper selon de degré potentiel de contamination.

3.4 Prélèvement d'échantillons de sédiments entiers

Quand on se propose de demander un permis d'immersion en mer, on pourrait avoir à prélever des échantillons de sédiments sur le lieu de dragage ou sur le lieu d'immersion projeté (figure 8). Pour les besoins de l'évaluation du lieu d'immersion, on pourrait aussi avoir besoin de sédiments d'une station de référence et d'une station de contrôle (*cf.* § 3.4.2).

Les échantillons de sédiments de référence devraient être prélevés en même temps que les sédiments d'essai ou, sinon, dans les 48 heures (§ 3.4.2); toutefois, les échantillons de sédiments de contrôle et les organismes d'expérience—s'ils ne sont pas élevés en laboratoire—devraient être prélevés ou obtenus simultanément (*cf.* § 3.4.3). Au lieu d'un sédiment de contrôle prélevé sur le terrain, on peut utiliser un sédiment de contrôle artificiel ou préparé en laboratoire.

Le besoin constaté de sédiments de contrôle marins préparés en laboratoire ou artificiels a suscité un certain nombre de travaux de recherche (EC, 1995b). Jusqu'à ce jour, on a utilisé, comme sédiments de contrôle en milieu marin, des échantillons de sable d'une plage suffisamment non contaminée que l'on a préparés et traités en vue des

analyses, soit par lavage, tamisage par voie humide puis séchage au four, soit par transformation à haute température pendant une période donnée dans un four à moufle (Yee *et al.*, 1992; Burgess *et al.*, 1994). Les sédiments artificiels ou préparés en laboratoire servant à l'évaluation biologique des projets de dragage devraient satisfaire aux critères suivants :

- permettre la survie, la croissance ou la reproduction de divers invertébrés benthiques;
- assurer de façon constante des indicateurs biologiques acceptables chez diverses espèces;
- se caractériser par la constance des constituants et des performances expérimentales;
- être composé de constituants d'accès facile à tous les particuliers et à toutes les installations;
- être exempts de contaminants qui pourraient exercer des effets nocifs chez les organismes d'expérience (c'est-à-dire, qu'on n'en tolère que des traces) (ASTM, 1994).

Environnement Canada (1995b) a publié un document d'orientation sur l'emploi de sédiments préparés en laboratoire en vue de servir de sédiments de contrôle.

Les paragraphes qui suivent donnent des directives sur les prélèvements de sédiments entiers sur les lieux de dragage ou d'immersion ainsi que de sédiments sur les lieux de référence et de contrôle. Les prélèvements peuvent être nécessaires à l'évaluation chimique seulement ou à l'évaluation chimique et biologique.

3.4.1 Prélèvement d'échantillons sur les lieux de dragage et les lieux d'immersion

Recommandations pour l'évaluation chimique seulement

- On devrait prélever des carottes, si c'est possible, et la profondeur de pénétration devrait égaler la profondeur à draguer dans chaque station d'échantillonnage.
- Les carottiers recommandés pour les lieux d'immersion en eau libre sont présentés à la figure 5; ceux recommandés pour les lieux de dragage sont présentés dans les figures 3, 4 ou 5, selon le type de milieu.
- Faute de pouvoir se servir de carottiers, on peut prélever un échantillon superficiel au moyen d'une benne. Divers types de bennes sont recommandés dans les figures 3, 4 ou 5, selon le type de milieu.
- La profondeur de pénétration de la benne devrait être d'au moins 15 cm.
- Tous les échantillons devraient être prélevés dans les stations d'échantillonnage désignées et approuvées dans le plan d'échantillonnage.
- Des conseils sont donnés sur le fonctionnement des échantillonneurs dans le § 2.5.3.
- Le volume minimal de sédiment par échantillon habituellement exigé pour la caractérisation physicochimique est de 1,0 L de sédiment humide, dans l'hypothèse d'une teneur en eau de 90 %. Si l'on analyse aussi les hydrocarbures

pétroliers (p. ex., huiles et graisses), on pourrait avoir besoin d'encore 1 L de sédiment.

- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des sédiments sur les lieux de dragage, d'immersion ou de référence, comme il est décrit dans le § 3.7.
- Pour les besoins de l'obtention du permis, il faut remplir les formulaires de données sur place durant les prélèvements de sédiments (annexe H).
- On devrait prendre les précautions qui s'imposent au cours du prélèvement de matières susceptibles d'être dangereuses.
- Il faut prélever au moins trois (de préférence cinq) échantillons dans une (de préférence deux) stations d'échantillonnage sur le lieu de référence (cf. § 3.4.2).

Recommandations pour l'évaluation chimique et biologique

- On devrait prélever des carottes, si c'est possible, et la profondeur de pénétration devrait égaler la profondeur à draguer dans chaque station d'échantillonnage.
- Pour le prélèvement de sédiments de surface à grains fins sur les lieux de dragage et d'immersion, on recommande des carottiers à boîte. Dans les eaux peu profondes (p. ex., ≤ 10 m), on recommande des carottiers à main pour le dragage peu profond. Faute de pouvoir utiliser des carottiers à boîte ou à main, on peut utiliser une benne Ponar, Smith-McIntyre ou Van Veen, selon le substrat, la profondeur de l'eau et les

conditions ambiantes (*cf.* § 2.5, figures 3, 4 ou 5). Une profondeur de pénétration d'au moins 15 cm est souhaitable. Les carottiers à gravité Alpine ou Phleger sont recommandés pour le prélèvement de sédiments sur les lieux où la profondeur de dragage sera inférieure à 2 m ou lorsqu'on doit obtenir un profil vertical des sédiments. On recommande des carottiers à piston pour les échantillons de sédiment prélevés à plus de 2 m de profondeur. La gaine devrait être de verre, de polyéthylène ou de polypropylène, avec un diamètre intérieur de 100 ± 25 mm pour les carottes d'au plus 1,0 m et de 75 ± 25 mm pour celles de plus de 1,0 m.

- Dans le § 2.5.3, on présente des conseils sur le fonctionnement des échantillonneurs.
- Tous les échantillons devraient être prélevés dans les stations d'échantillonnage désignées et approuvées dans le plan d'échantillonnage.
- Le volume de sédiment prélevé devrait suffire à la caractérisation physicochimique (1–2 L) et à l'évaluation biologique (tableau 3). On recommande un volume d'au moins 3 L de sédiment par échantillon lorsque l'évaluation biologique comprend uniquement des essais de toxicité à effectuer sur les sédiments entiers. On recommande un échantillon d'au moins 7 L de sédiment si l'évaluation biologique comprend un essai de détermination de la bioaccumulation sans répétition.
- S'il faut des échantillons répétés de sédiment, on devrait en prélever au

moins trois, de préférence cinq, à la station d'échantillonnage.

- Il faut prélever au moins trois (de préférence cinq) échantillons dans une (de préférence deux) stations d'échantillonnage sur le lieu de référence (*cf.* § 3.4.2).
- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des sédiments sur les lieux de dragage, d'immersion ou de référence, comme il est décrit dans le § 3.7.
- Pour les besoins de l'obtention du permis, il faut remplir les formulaires de données sur place durant les prélèvements de sédiments (annexe H).
- On devrait prendre les précautions qui s'imposent au cours du prélèvement de matières susceptibles d'être dangereuses.
- L'analyse du benthos pourrait être requise dans le cadre de l'évaluation du lieu d'immersion; il faudrait alors prélever d'autres sous-échantillons (p. ex., au carottier à boîte) ou échantillons (p. ex., au carottier à main ou à la benne) des sédiments de surface (p. ex., jusqu'à 5 cm de profondeur).
- Pour l'évaluation biologique, on peut devoir prélever des échantillons de sédiments dans des lieux de contrôle, y compris des organismes d'expérience (*cf.* § 3.4.3).

Pour le prélèvement des sédiments fins de surface (<1 m de profondeur), on recommande pour toutes les stations le carottier à boîte. Coûteux et encombrant, il est néanmoins idéal, en raison de sa grande section, pour prélever un sédiment non

perturbé, meuble, relativement abondant dans un horizon donné. Habituellement fait de métal (p. ex., acier ou aluminium anodisé), il peut comporter une gaine de plastique et de Teflon® (EC, 1985). On peut s'en servir pour prélever le benthos, et le gros échantillon qu'il ramène peut facilement donner de sous-échantillons que l'on prélève au moyen d'un carottier à main. Un carottier à boîte remontera suffisamment de sédiment pour répondre aux besoins des analyses biologiques et chimiques.

En eau peu profonde (p. ex., ≤ 10 m), on recommande le carottier à main, télécommandé ou utilisé par des plongeurs, pour les lieux de dragage de faible profondeur ($\leq 0,5$ m) dans des sédiments meubles; toutefois, on pourrait devoir répéter les prélèvements pour obtenir suffisamment de sédiment.

Lorsque le substrat ne se prête pas au carottier à boîte ou au carottier à main, on peut utiliser une benne Ponar, Smith-McIntyre ou Van Veen, selon le type de substrat, la profondeur de l'eau et les conditions ambiantes, pour prélever les sédiments marins superficiels (figure 5). Les bennes conviennent également au prélèvement de sédiments qu'on sait homogènes dans l'axe vertical. En effet, les sédiments des chenaux de navigation fréquentés et des zones où on recommence chaque année les travaux de dragage sont soumis à des phénomènes de turbulence et de remise en suspension qui empêchent leur stratification; un échantillon superficiel est donc susceptible d'être représentatif de sédiments plus profonds. La profondeur de pénétration doit être d'au moins 15 à 20 cm. Les bennes permettent de prélever le benthos.

Pour le prélèvement des sédiments de la subsurface, on recommande les carottiers à gravité (p. ex., Apline ou Phleger) (de 1 à 2 m de profondeur dans les sédiments) et à piston (plus de 2 m de profondeur dans les sédiments). Pour prélever un volume suffisant de sédiment, le diamètre intérieur du tube ou de la gaine devrait être de 100 ± 25 mm pour les carottes d'au plus 1,0 m, et de 75 ± 25 mm pour les carottes de plus de 1,0 m. La gaine devrait être soit de polyéthylène haute densité, soit de polypropylène. La profondeur de pénétration du carottier devrait égaler la profondeur à draguer.

Les avantages et les inconvénients des divers carottiers les plus utilisés sont présentés en détail dans le § 2.5 et ils sont résumés dans le tableau 5. Dans le § 2.5.3, on traite du bon fonctionnement de ces dispositifs et de leur nettoyage, tandis que l'on expose les critères d'acceptabilité des échantillons dans le § 2.5.4. Le plan de l'étude devrait préciser la marque et le numéro de modèle de l'échantillonneur et décrire succinctement le mode opératoire normalisé de fonctionnement et de nettoyage, la taille, la masse et la capacité de cet appareil.

3.4.2 Prélèvement de sédiments de référence

Recommandations

- L'emplacement du lieu de référence (c'est-à-dire, des stations de prélèvement des sédiments de référence) devrait être dans les environs du lieu de l'étude, dans la même étendue d'eau, mais relativement à l'abri de l'influence des sources de contamination.

- Le sédiment de référence devrait être généralement comparable aux sédiments d'essai pour ce qui concerne la répartition granulométrique, la teneur en carbone organique, le pH et la capacité d'échange cationique.
- L'échantillonneur servant à prélever le sédiment de référence devrait être identique à celui servant à prélever les sédiments d'essai superficiels (p. ex., du lieu d'immersion).
- Le volume de sédiment prélevé devrait suffire à la caractérisation physicochimique (1–2 L) et aux évaluations biologiques (3 L pour l'essai de toxicité et 3 L pour la mesure de la bioaccumulation); on recommande donc un volume minimal de 7 L par échantillon.
- Il faudrait prélever au moins trois (de préférence cinq) échantillons répétés de sédiment de référence.
- Les échantillons de sédiment de la station de référence devraient être prélevés en même temps que les sédiments d'essai ou, sinon, dans les 48 heures.
- Aux fins de la demande de permis, il faut remplir les formulaires concernant les prélèvements de sédiments (annexe H).
- Même si les sédiments des lieux de référence sont considérés comme “non contaminés”, le mode opératoire utilisé pour leur prélèvement et leur manipulation devrait être identique à celui employé pour les sédiments d'essai.
- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des sédiments d'essai, décrits dans le § 3.7.
- On devrait utiliser des lieux de référence sur lesquels on possède déjà des résultats d'analyses, si c'est possible, et il est recommandé de consulter le bureau régional d'Environnement Canada (annexe B) pour obtenir des conseils, au besoin.

Le sédiment de référence est un sédiment relativement “non contaminé” et “non toxique”, prélevé pour servir de point de comparaison pour les essais biologiques, en raison de sa similitude géochimique avec un sédiment d'essai donné. Sa principale utilité, dans l'étude d'un projet de dragage, est de constituer un milieu aux propriétés géochimiques semblables qui permet de mesurer, indépendamment des contaminants, les effets du sédiment d'essai sur l'organisme d'expérience (dus, p. ex., à ses caractéristiques physiques). Au Canada, aucun endroit n'a été désigné comme source de sédiments de référence.

Outre ces recommandations, on devrait suivre les recommandations données dans les § 2.5, 2.7 et 2.8 pour le prélèvement, la manipulation, le transport et l'entreposage des sédiments de référence. Les récipients à échantillon, les récipients d'entreposage ainsi que l'équipement de manipulation (p. ex., mélangeurs, tamis, dispositifs de sous-échantillonnage) doivent être construits de matériaux neufs ou avoir servi à manutentionner ou à contenir des matières “non contaminées” seulement et avoir été nettoyés à fond avant usage. Toutes les pièces d'équipement, y compris les échantillonneurs, devraient être nettoyés à fond avant usage (§ 2.8) et tout l'équipement

qui sert à manipuler, à entreposer et à préparer les sédiments de contrôle ou de référence devrait être gardé séparé de l'équipement qui sert à traiter de même les sédiments d'essai. Le § 2.3.7 donne des recommandations sur les préparatifs de l'échantillonnage sur le terrain.

3.4.3 Prélèvement de sédiments de contrôle pour l'évaluation biologique

Recommandations

- Les sédiments de contrôle peuvent être prélevés en milieu aquatique ou être préparés artificiellement. Les sédiments de contrôle prélevés pour les études de projets de dragage devraient provenir des mêmes stations que les organismes d'expérience. Si ces organismes sont élevés en laboratoire dans un sédiment artificiel, ce dernier peut servir de sédiment de contrôle.
- On devrait consulter le bureau délivrant le permis pour obtenir des renseignements sur l'emplacement des stations convenant au prélèvement des organismes d'expérience.
- Le volume de sédiment prélevé devrait suffire au maintien des organismes dans le laboratoire de même qu'à la caractérisation physicochimique et à l'évaluation biologique. On recommande un volume minimal de 15 L par échantillon.
- Pour les besoins de la demande de permis, il faut remplir et remettre les formulaires concernant le prélèvement des sédiments et des organismes d'expérience (annexe H).

- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des organismes d'expérience, comme il est décrit dans la méthode d'essai biologique.
- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des sédiments d'essai, comme il est décrit dans le § 3.7.

La première raison pour laquelle on prélève un sédiment de contrôle dans l'étude d'un projet de dragage est de se procurer un milieu dont les caractéristiques se prêtent à la survie, à la croissance et à la reproduction des organismes d'expérience. Ce sédiment peut posséder ou non des caractéristiques semblables à celles du sédiment d'essai. Il sert de substrat pour contrôler l'état de santé des organismes d'expérience pendant l'essai ou la série d'essais en laboratoire. Il faudrait en prélever suffisamment pour élever les organismes d'expérience en laboratoire et pour effectuer les évaluations biologiques (p. ex., les essais de toxicité) ainsi que les analyses physicochimiques.

Bien que le volume de sédiment nécessaire soit propre à l'espèce et qu'il dépende du type d'essai de toxicité, il en faut habituellement au moins 15 L pour répondre aux besoins d'un programme expérimental. Si l'on prévoit des tests supplémentaires, on devrait en prélever plus. L'emploi d'un sédiment de contrôle artificiel pourrait parer à la nécessité d'en prélever dans la nature (Burgess *et al.*, 1994; Burgess et Morrison, 1994; Suedel et Rodgers, 1994) s'il possède les caractéristiques des deux types de sédiments.

Outre ces recommandations, on devrait suivre les recommandations données dans les § 2.5, 2.7 et 2.8 pour le prélèvement, la

manipulation, le transport et l'entreposage des sédiments de contrôle naturels. Les récipients à échantillon, les récipients d'entreposage ainsi que l'équipement de manipulation (p. ex., mélangeurs, tamis, outils de sous-échantillonnage) doivent être construits de matériaux neufs ou avoir servi à manutentionner ou à contenir des matières "non contaminées" seulement. Tout l'équipement, y compris les échantillonneurs, devrait être nettoyé à fond avant d'être utilisé (§ 2.8), et tout l'équipement servant à manipuler, à entreposer et à préparer les sédiments de contrôle devrait être gardé séparé de l'équipement servant aux mêmes opérations sur les sédiments d'essai.

3.5 Manutention des prélèvements

3.5.1 Carottes de sédiments des lieux de dragage ou d'immersion

La manutention des échantillons de sédiment a fait l'objet du § 2.7 en général et du § 2.7.1 en particulier. Il importe de réitérer la nécessité d'éviter tout contact inutile avec la verrerie et les ustensiles outils. Les échantillons destinés à l'analyse des métaux traces et aux essais biologiques ne devraient pas entrer en contact avec des surfaces métalliques. Les échantillons destinés aux analyses organiques ne devraient pas entrer en contact avec des surfaces de plastique. On devrait prendre les précautions voulues pour éviter la contamination des échantillons. La marche à suivre recommandée au § 2.7.1 s'applique aux carottes prélevées sur les lieux de dragage.

Le sous-échantillonnage des carottes devrait faire partie de la préparation des échantillons de sédiments entiers destinés à la caractérisation physicochimique, aux mesures de la bioaccumulation et aux essais

de toxicité. Une photo de la carotte dans sa gaine ou son tube transparent, qui laisse également voir son numéro d'identification, est un document permanent qui identifie l'échantillon et en montre l'aspect.

Voici la marche à suivre pour le sous-échantillonnage des carottes de sédiments des lieux de dragage ou d'immersion. Cette marche à suivre s'applique aux carottes, à l'exception des échantillons de carottiers à boîte :

- Prendre note de l'aspect de la carotte (p. ex., photographie ou description du type de sédiment, de sa couleur, de sa structure et de la faune présente, et longueur de la carotte).
- Siphonner toute eau subsistant en surface, en veillant à ne pas perturber les particules superficielles fines.
- Par extrusion mécanique, récupérer les 5 cm supérieurs et, en excluant le sédiment en contact direct avec la gaine (*cf.* § 2.7.1), déposer l'échantillon dans le type adéquat de récipient (*cf.* § 2.8, tableau 7).
- Par extrusion mécanique, récupérer les parties de la carotte qui, à l'examen visuel et selon le meilleur jugement professionnel, paraissent constituer des horizons distincts de sédiment et les déposer dans des récipients distincts.
- On devrait homogénéiser le sédiment déposé dans chaque récipient (*cf.* § 2.9.1) jusqu'à l'obtention d'un mélange de couleur et de texture uniformes.
- Au moyen d'une petite pelle de Teflon® ou revêtue de Teflon®, prélever des sous-échantillons de sédiment en vue du

dosage des métaux et des contaminants organiques, puis prélever des sous-échantillons pour les autres essais de caractérisation chimique et physique.

- Le volume des sous-échantillons dépendra des besoins des analyses. Comme celles-ci pourraient être effectuées en fonction de la masse sèche de l'échantillon et que la teneur en eau des sédiments est variable (p. ex., de <30 à 80 %), prélever au moins deux ou trois fois la masse sèche de sédiment nécessaire aux analyses.
- Si le plan de l'étude prévoit qu'on manipule le sédiment toujours à l'abri de l'oxygène, l'extrusion des carottes devrait avoir lieu dans une boîte à gants modifiée, en présence d'un gaz inerte (p. ex., § 2.7.1).

3.5.2 Échantillons de surface prélevés au moyen d'un carottier à boîte ou d'une benne sur les lieux de dragage, d'immersion, de référence ou de contrôle

La manipulation des prélèvements au moyen de carottiers à boîte ou de bennes fait l'objet des § 2.7.1 et 2.7.2, respectivement. Ces recommandations s'appliquent aux sédiments prélevés sur les lieux de dragage, d'immersion, de référence et de contrôle.

Sous-échantillonnage des échantillons prélevés à la benne ou par des carottiers à boîte. La marche à suivre recommandée dans ce cas est la suivante :

- Déloger soigneusement, sous jet d'eau, tout sédiment adhérent à la face externe de l'échantillonneur qui pourrait contaminer l'échantillon.

- Déposer l'échantillonneur sur une surface (p. ex., table ou plate-forme) stable et d'accès facile.
- Laisser l'échantillon reposer quelques minutes.
- Ouvrir l'échantillonneur par le dessus (ou le côté), puis examiner l'échantillon. Noter son aspect (*cf.* § 2.4). S'il est acceptable (*cf.* § 2.5.4), siphonner l'eau sus-jacente, s'il y a lieu, en veillant à ne pas perturber les sédiments fins superficiels. Jeter cette eau.
- Les mesures sur place peuvent être effectuées sur l'échantillon avant le sous-échantillonnage (*cf.* § 2.4).
- À l'aide d'une pelle revêtue de Teflon® ou d'un carottier à main, retirer les 5 cm supérieurs et les déposer dans un récipient à échantillon, en le remplissant jusqu'au bord.
- Boucher le récipient après avoir complété le volume avec une mince couche d'eau désoxygénée, si nécessaire, pour aider à en chasser l'air.
- Il peut être souhaitable de prélever les sous-échantillons à l'abri de l'oxygène, selon les objectifs de l'étude. La marche à suivre est décrite dans le *cf.* § 2.7.2.

Dans le cas d'un échantillon prélevé à l'aide d'un carottier à boîte, se conformer aux quatre premiers points qui précèdent, puis :

- Au moyen d'un carottier à main, prélever les sous-échantillons selon les horizons sédimentaires reconnus visuellement. On recommande, pour les carottiers, un diamètre de 12 cm, qui permettrait de prélever un volume de 565 cm³ jusqu'à la profondeur de 5 cm.

- Le nombre de sous-échantillons dépend du volume de sédiment nécessaire aux analyses.
- Ne pas sous-échantillonner de sédiment qui est entré en contact direct avec le carottier à boîte.
- Les sous-échantillons peuvent être réunis en un échantillon composé pour procurer suffisamment de matière de la couche de surface.
- Les sous-échantillons devraient être soumis à un tri manuel soigneux ou à un tamisage sous pression (§ 2.9.1) au travers d'un tamis à ouvertures de taille adéquate, pour en éliminer les organismes indigènes qui pourraient nuire aux organismes d'expérience. Ces sous-échantillons conviennent aux essais de toxicité et aux analyses chimiques.
- S'il faut des données sur le benthos, il faudrait soumettre des sous-échantillons distincts à un tamisage par voie humide au travers d'un tamis à ouvertures de 0,5 mm ou d'une taille adéquate (§ 2.9.1)
- Les organismes retenues dans le tamis peuvent être triés immédiatement afin d'en dénombrer et d'en identifier les espèces ou être déposés dans de l'eau salée, dans un récipient de verre ou de Nalgene^{MD}, pour être soumis au tri dans les 24 heures suivant le prélèvement. Si l'on ne peut procéder de la sorte, on peut utiliser un agent de conservation adéquat et trier l'échantillon à une date ultérieure.
- Tous les sous-échantillons doivent être déposés dans le type adéquat de récipient (*cf.* § 2.8, tableau 7) et mis dans le récipient de transport, après étiquetage

dans les règles (*cf.* § 2.8.1).

- Si un sous-échantillonnage est exigé au laboratoire, homogénéiser le contenu dans le récipient d'entreposage (*cf.* § 2.9.1) avant d'effectuer le sous-échantillonnage.

3.6 Transport et entreposage des prélèvements de sédiment

La marche à suivre pour le transport et l'entreposage de ces échantillons est décrite dans le § 2.8.

3.7 Préparation des prises d'essai à partir des prélèvements

La préparation des prises d'essai pour la détermination de la toxicité des sédiments entiers ou de la bioaccumulation, la caractérisation physicochimique, l'analyse des contaminants (inorganiques et organiques) et l'extraction de l'élutriat ainsi que de l'eau de porosité du sédiment est décrite en détail dans le § 2.9. Ces modes opératoires et ces méthodes s'appliquent aux sédiments des lieux de dragage, d'immersion et de référence.

3.7.1 Préparation des prises d'essai pour les essais de toxicité sur le sédiment entier

La préparation, à partir des échantillons de sédiment entier, de prises d'essai pour les essais de toxicité a été décrite en détail dans le § 2.9.1. La marche à suivre ci-dessous s'applique aux sédiments des lieux de dragage, d'immersion et de référence.

- Avec des instruments faits de matériaux inertes, débarrasser l'échantillon des grosses roches, des débris et des organismes endémiques gênant les analyses.

- Si le tamisage est nécessaire (*cf.* § 2.9.1), faire passer, sous pression, le sédiment au travers d'un tamis à ouvertures de taille adéquate (p. ex., 0,5 mm).
- Déposer le sédiment dans son récipient d'entreposage (*cf.* § 2.8.1 ainsi que les tableaux 7 et 8), puis homogénéiser au moyen d'un mélangeur mécanique jusqu'à l'obtention d'une couleur ou d'une texture uniformes (*cf.* § 2.9.1).
- Les échantillons entreposés de sédiments tamisés doivent être homogénéisés de nouveau avant d'être répartis entre les récipients d'essai.
- Séparer le sédiment par quartage et affecter les portions de façon aléatoire aux récipients d'essai (*cf.* § 2.9.1). On peut, si le sédiment renferme beaucoup d'eau, utiliser un répartiteur de sédiment.

3.7.2 Préparation des prises d'essai pour la caractérisation chimique

En général, les modes de préparation sont propre à l'essai à effectuer (c'est-à-dire, que la méthode d'analyse dicte les modalités de la préparation des échantillons); les méthodes d'analyse devraient donc être déterminées avant le prélèvement des échantillons, et les manipulations de ces derniers devraient être précisées dans le plan de l'étude. On devrait consulter le guide des méthodes normalisées d'analyse qu'utilise le laboratoire d'analyse pour vérifier les modes opératoires de préparation des échantillons (p. ex., Loring et Rantala, 1992).

Les renseignements minimaux dont on a besoin pour l'immersion des matières draguées sont la provenance ces matières, les concentrations de cadmium, de mercure, de BPC, de HAP totaux, de HAP de faible poids moléculaire, de HAP de poids

moléculaire élevé et de carbone organique total ainsi que la répartition granulométrique. Les renseignements minimaux exigés pour l'immersion sur un nouveau lieu d'immersion concernent la bathymétrie, le transport des sédiments, la salinité, les courants ainsi que les caractéristiques chimiques des sédiments, qui doivent comprendre les concentrations de cadmium, de mercure, de BPC, de HAP totaux, de HAP de faible poids moléculaire et de HAP de poids moléculaire élevé (*cf.* la demande de permis, annexe H).

3.7.3 Préparation des prises d'essai pour l'extraction de l'eau de porosité

Pour préparer l'échantillon de sédiment en vue de l'extraction de l'eau de porosité, suivre le mode opératoire donné dans le *cf.* § 2.9.3.

3.8 Assurance et contrôle de la qualité de l'échantillonnage en vue de l'immersion des matières draguées en eau libre

- Les objectifs de qualité des données devraient être fixés avant l'exécution du programme d'échantillonnage et ils devraient faire partie du plan de l'étude.
- Il faudrait tenir un compte rendu complet de toutes les opérations exécutées sur le terrain, y compris les préparatifs sur place. Les feuilles de données doivent mentionner le lieu de l'étude et les stations d'échantillonnage, les méthodes de prélèvement et de manutention des échantillons, les techniques et les réactifs (s'il y a lieu) utilisés pour la conservation ainsi que les méthodes d'entreposage; on devrait indiquer la date et l'heure du prélèvement, le nom de la personne qui l'a effectué et le type de bateau utilisé. Dans l'annexe H, on

donne des exemples de feuilles de données de terrain.

- En tout temps, on doit avoir sous la main, sur papier, les modes opératoires normalisés régissant les travaux sur le terrain et le fonctionnement de l'équipement.
- Il faut mettre en place un mécanisme de suivi des échantillons, de leur prélèvement jusqu'à leur élimination (p. ex., chaîne de possession, annexe H).
- Il faut tenir l'inventaire des échantillons.
- Les échantillons de sédiment devraient satisfaire aux critères d'acceptabilité.
- Le programme d'assurance et de contrôle de la qualité de l'échantillonnage devrait prévoir des essais à blanc (2) portant sur des témoins de transport et des filtres.
- Au moins 1 % des prélèvements devraient être des échantillons fractionnés, afin qu'on puisse évaluer la variabilité de la manutention des échantillons.
- Afin d'évaluer la variabilité du sous-échantillonnage, on devrait analyser des sous-échantillons répétés (5 %).
- Si des prélèvements répétés sont réunis en échantillons composés (c'est-à-dire, si l'on réunit plus d'un échantillon par station) en raison des contraintes de coût des analyses, alors, dans au moins 5 % des stations, on ne devrait pas préparer d'échantillons composés afin d'évaluer l'hétérogénéité dans chaque station d'échantillonnage.
- Tous les échantillonneurs et tous les instruments utilisés pour la saisie de

données sur le terrain doivent être soumis à un entretien et à un étalonnage réguliers; on devrait garder une trace écrite de ces travaux.

- Seules des personnes expérimentées, qui connaissent bien tous les aspects du plan de l'étude et du plan d'échantillonnage, devraient participer au prélèvement des échantillons et à la saisie des données.
- Les écarts relativement aux modes opératoires normalisés de même qu'aux méthodes décrites dans le présent document pour le prélèvement, la manipulation, le transport, l'entreposage ou la préparation des échantillons de sédiment doivent être décrits et signalés.
- Des renseignements détaillés sur les marches à suivre additionnelles d'assurance et de contrôle de la qualité sont présentés dans les documents suivants : CCME, 1993; USEPA, 1992; Keith, 1990 et 1992.

3.9 Sommaire des recommandations pour les études en vue de l'immersion en eau libre

3.9.1 Plan de l'étude

- L'objet du projet de dragage doit être clairement énoncé.
- Les objectifs du plan d'échantillonnage doivent être clairement énoncés.
- Il faut délimiter avec précision les lieux de dragage, de référence et d'immersion, puis les cartographier avec indication des coordonnées.
- Consulter, étudier et évaluer toutes les données historiques disponibles (*cf.* §

2.3.2 et 3.3.2), notamment les demandes antérieures de permis d'immersion en mer.

- Déterminer les sources possibles de contamination et en porter l'emplacement sur la carte.
- Déterminer les zones vulnérables et en porter les limites sur la carte.
- Déterminer (p. ex., par sondage acoustique) et confirmer (p. ex., en faisant appel à des plongeurs, à la surveillance électronique ou à un échantillonnage préliminaire) l'emplacement des sédiments fins.
- Déterminer le type de substrat sédimentaire sur les lieux de dragage et d'immersion.
- Déterminer les profondeurs à draguer dans toute la zone.
- Le programme d'échantillonnage devrait être établi en consultation avec le Bureau de l'immersion en mer avant le début de tout travail.
- Choisir une méthode de positionnement d'une exactitude de 1 à 10 m.
- Déterminer les types d'analyses exigés pour tous les échantillons prélevés.
- Déterminer le volume ou la masse d'échantillon nécessaire pour satisfaire aux exigences des analyses (caractérisation physicochimique, analyses des contaminants, essais de toxicité, etc.) et du programme d'assurance et de contrôle de la qualité.
- Le volume minimal de sédiment par échantillon qui est habituellement

nécessaire pour la caractérisation physicochimique et l'évaluation biologique est de 7 L de sédiment humide, dans l'hypothèse d'une teneur en eau de 90 %.

- Déterminer le nombre minimal de stations à visiter pour chaque projet de dragage, le principal critère à cette fin étant la taille du projet de dragage (annexe G), puis, d'après la disponibilité et la qualité des données historiques (p. ex., avec ou sans stratification), déterminer l'emplacement des stations d'échantillonnage sur le lieu de dragage (cf. § 3.3.3). En général, on prélève un échantillon de sédiment à chaque station d'échantillonnage. On peut également déterminer le nombre d'échantillons requis pour obtenir un écart minimal décelable à un seuil de confiance et une puissance donnés (cf. § 2.3.6 et annexe C) et pour satisfaire aux objectifs de qualité des données du programme d'assurance et de contrôle de la qualité (cf. § 3.7).
- Il est recommandé de prélever des échantillons additionnels de sédiment d'essai dans les zones les plus susceptibles d'être sous l'influence des centres urbains et des activités agricoles ou industrielles (c'est-à-dire, à proximité d'émissaires d'évacuation d'effluents industriels, d'eaux d'égout ou d'effluents urbains, de voies de navigation, d'aires de chargement et de déchargement, de points de soutage, d'aires de transbordement de produits chimiques, de zones réceptrices des bassins de drainage, etc.).
- On devrait porter sur la carte l'emplacement des stations d'échantillonnage, avec les coordonnées voulues.

- Il faut déterminer dans le plan de l'étude la méthode d'immersion, y compris le type de bateau, le type d'immersion (p. ex., continue, instantanée, d'une seule trémie, stationnaire, ou en mouvement), le moment de l'immersion, la fréquence des immersions, la route à suivre jusqu'au lieu d'immersion projeté et la vitesse du bateau durant l'immersion.

Préparatifs pour le prélèvement d'échantillons

- Une planification et des préparatifs rigoureux devraient précéder les travaux d'échantillonnage et devraient comprendre l'établissement de protocoles écrits pour les aspects logistiques et de listes de contrôle de l'équipement requis pour chaque opération d'échantillonnage. Pour plus de détails, consulter le § 2.3.7 ou, pour un sommaire, le § 2.10.
- Pour programme d'assurance et de contrôle de la qualité, il faudrait préparer des récipients témoins (§ 3.7).

3.9.2 Prélèvement des échantillons et saisie des données

Tous les échantillons

- On devrait prendre des mesures et des notes de terrain détaillées (*cf.* le § 2.10 pour le sommaire des recommandations et la demande de permis de l'annexe H) et il faut remplir, pour les besoins de l'obtention du permis (annexe H), les formulaires de données sur place durant les prélèvements de sédiments (dans les lieux de dragage et de référence).
- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des sédiments sur

les lieux de dragage, d'immersion ou de référence, comme il est décrit dans le § 3.7.

- Tous les échantillons devraient être prélevés dans les stations d'échantillonnage désignées et approuvées dans le plan d'échantillonnage.
- On devrait prendre les précautions qui s'imposent au cours du prélèvement de matières susceptibles d'être dangereuses.
- Dans le § 2.5.3, on présente des conseils sur le fonctionnement des échantillonneurs.
- Faute de pouvoir se servir de carottiers à sédiments, on peut prélever un échantillon superficiel au moyen d'une benne.
- On devrait prélever avec le même type d'échantillonneur, si c'est possible, les sédiments de surface à comparer d'un lieu à l'autre (lieu de dragage, lieu d'immersion et lieu de référence).
- Les échantillonneurs recommandés pour les sédiments de surface sont, par ordre de préférence décroissante, le carottier à boîte, le carottier à main, l'échantillonneur Ponar, la benne Van Veen et l'échantillonneur Smith-McIntyre.
- La profondeur de pénétration de l'échantillonneur à benne devrait être d'au moins 15 cm.

Évaluation chimique

- On devrait prélever des carottes, si c'est possible, et la profondeur de pénétration devrait égaler la profondeur à draguer dans chaque station d'échantillonnage.

- Les carottiers recommandés pour les lieux d'immersion en eau libre sont présentés à la figure 5; ceux qui sont recommandés pour les lieux de dragage sont présentés dans les figures 3, 4 ou 5, selon le type de milieu.
- Les carottiers recommandés pour les sédiments de la subsurface sont les carottiers à gravité (1–2 m profondeur) et à piston (>2 m).

Évaluation chimique et biologique

- On devrait prélever des carottes, si c'est possible, et la profondeur de pénétration devrait égaler la profondeur à draguer dans chaque station d'échantillonnage.
- Pour le prélèvement de sédiments de surface à grains fins sur les lieux de dragage et d'immersion, on recommande des carottiers à boîte. Dans les eaux peu profondes (p. ex., ≤ 10 m), on recommande des carottiers à main pour le dragage peu profond. Faute de pouvoir utiliser des carottiers à boîte ou à main pour prélever des sédiments superficiels, on peut utiliser une benne Ponar, Smith-McIntyre ou Van Veen, selon le substrat, la profondeur de l'eau et les conditions ambiantes (*cf.* § 2.5, figures 3, 4 ou 5). Une profondeur de pénétration d'au moins 15 cm est souhaitable. Les carottiers à gravité Alpine ou Phleger sont recommandés pour le prélèvement de sédiments sur les lieux où la profondeur de dragage sera supérieure à 0,5 m ou lorsqu'on doit obtenir un profil vertical des sédiments. La gaine devrait être de verre, de polyéthylène ou de polypropylène, avec un diamètre intérieur de 25 ± 100 mm pour les carottes d'au plus 1,0 m et de 25 ± 75 mm pour celles de plus de 1,0 m.
- Le volume de sédiment prélevé devrait suffire à la caractérisation physicochimique (1–2 L) et à l'évaluation biologique (tableau 3). On recommande un échantillon d'au moins 7 L de sédiment si l'évaluation biologique comprend des essais de toxicité et de bioaccumulation.
- L'analyse du benthos pourrait être requise dans le cadre de l'évaluation du lieu d'immersion; il faudrait alors prélever d'autres sous-échantillons (p. ex., au carottier à boîte) ou échantillons (p. ex., au carottier à main ou à la benne) des sédiments de surface.
- Pour l'évaluation biologique, on peut devoir prélever des échantillons de sédiments dans des lieux de contrôle naturels, y compris des organismes d'expérience (*cf.* § 3.4.3).

Sédiment de référence

- Si possible, on devrait utiliser des lieux de référence sur lesquels on possède déjà des résultats d'analyses, et il est recommandé de consulter le bureau régional d'Environnement Canada (annexe B) pour obtenir des conseils, au besoin. Sinon, le lieu de référence devrait être dans les parages du lieu de l'étude, dans la même étendue d'eau, mais à un endroit où les sédiments sont relativement à l'abri de l'influence des sources de contamination.
- Le sédiment de référence devrait être généralement comparable aux sédiments d'essai pour ce qui concerne la répartition granulométrique, la teneur en carbone organique, le pH et la capacité d'échange cationique.

- L'échantillonneur servant à prélever le sédiment de référence devrait être identique à celui servant à prélever les sédiments d'essai superficiels (p. ex., du lieu d'immersion), de même que la façon de les employer.
- Le volume de sédiment prélevé devrait suffire à l'évaluation chimique et biologique; on recommande donc qu'il soit d'au moins 7 L par échantillon.
- Les échantillons de sédiment du lieu de référence devraient être prélevés en même temps que les sédiments d'essai ou, sinon, dans les 48 heures.
- Pour les besoins de l'obtention du permis, il faut remplir les formulaires concernant les prélèvements de sédiments (annexe H).
- Tous les sous-échantillons doivent être déposés dans le type adéquat de récipient (*cf.* § 2.8, tableau 7) et mis dans le récipient de transport, après étiquetage dans les règles (*cf.* § 2.8.1).
- Le volume de sédiment prélevé devrait suffire au maintien des organismes dans le laboratoire de même qu'à la caractérisation physicochimique et à l'évaluation biologique. On recommande un volume minimal de 15 L par station.
- Pour les besoins de l'obtention du permis, il faut remplir et remettre les formulaires concernant le prélèvement des sédiments et des organismes d'expérience (annexe H).
- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement des organismes d'expérience, comme il est décrit dans la méthode d'essai biologique.
- On devrait suivre les modes opératoires d'assurance et de contrôle de la qualité pour le prélèvement du sédiment de contrôle, comme il est décrit dans le § 3.7.

3.9.3 Manutention des échantillons

Les recommandations du § 2.7 s'appliquent également aux projets de dragage et d'immersion, sous réserve des adjonctions ou des nuances suivantes :

Tous les échantillons

- Les sédiments de contrôle prélevés pour les études de projets de dragage devraient provenir des mêmes stations que les organismes d'expérience. Si ces organismes sont élevés en laboratoire dans un sédiments artificiel, ce dernier peut servir de sédiment de contrôle.
- On devrait consulter le bureau délivrant le permis pour obtenir des renseignements sur l'emplacement des stations convenant au prélèvement des organismes d'expérience à utiliser dans les essais de toxicité.
- Les échantillons doivent être manutentionnés de façon à satisfaire au programme d'assurance et de contrôle de la qualité et aux objectifs de qualité des données.
- Les échantillons destinés à l'analyse des métaux traces et aux essais biologiques ne devraient pas entrer en contact avec des surfaces métalliques.

- Les échantillons destinés aux analyses des substances organiques ne devraient pas entrer en contact avec des plastiques, si ce n'est avec le polyéthylène haute densité.
- On devrait toujours porter des vêtements de protection et utiliser du matériel de protection au cours des prélèvements et de la manutention des sédiments.
- La manutention des sédiments devrait toujours avoir lieu au grand air ou sous une hotte dont les gaz sont évacués à l'extérieur de l'immeuble, à l'écart des bouches d'aération.
- Un protocole d'intervention en cas de déversement devrait être en place dans le laboratoire ou le bateau d'échantillonnage, et il devrait être compris par le personnel.
- L'immersion des matières draguées dangereuses doit être conforme aux règlements locaux, provinciaux et fédéraux en vigueur.
- On devrait homogénéiser le sédiment déposé dans chaque récipient (*cf.* § 2.9.1) jusqu'à l'obtention d'un mélange de couleur et de texture uniformes.
- Au moyen d'une petite pelle de Teflon® ou revêtue de Teflon®, prélever des sous-échantillons de sédiment en vue du dosage des métaux et des contaminants organiques, puis prélever des sous-échantillons pour les autres essais de caractérisation chimique et physique.
- Le volume des sous-échantillons dépendra des besoins des analyses. Comme celles-ci pourraient être effectuées en fonction de la masse sèche de l'échantillon et que la teneur en eau des sédiments est variable (p. ex., de <30 à 80 %), prélever au moins deux ou trois fois la masse sèche de sédiment nécessaire aux analyses.
- Si le plan de l'étude prévoit qu'on manipule le sédiment toujours à l'abri de l'oxygène, l'extrusion des carottes devrait avoir lieu dans une boîte à gants modifiée, en présence d'un gaz inerte (p. ex., § 2.7.1).

Sous-échantillonnage des carottes

- Siphonner toute eau subsistant en surface, en veillant à ne pas perturber les particules superficielles fines.
- Par extrusion mécanique, récupérer les 5 cm supérieurs et, en excluant le sédiment en contact direct avec la gaine (*cf.* § 3.5.1), déposer l'échantillon dans le type adéquat de récipient (*cf.* § 2.8, tableau 7).
- Par extrusion mécanique, récupérer dans des récipients distincts les parties de la carotte renfermant des horizons de sédiment qu'on distingue à l'examen visuel.

Échantillons de carottiers à boîte

- Au moyen d'un carottier à main, prélever les sous-échantillons selon les horizons sédimentaires reconnus visuellement. On recommande, pour les carottiers, un diamètre de 12 cm, qui permettrait de prélever un volume de 565 cm³ jusqu'à la profondeur de 5 cm.
- Le nombre de sous-échantillons dépend du volume de sédiment nécessaire aux analyses.
- Ne pas sous-échantillonner de sédiment qui est entré en contact direct avec le carottier à boîte.

- Les sous-échantillons peuvent être réunis en un échantillon composé pour procurer suffisamment de matière de la couche de surface.
- On devrait soumettre au moins trois sous-échantillons de la couche des 5 cm supérieurs à un tri manuel soigneux (§ 2.9.1) ou à un tamisage sous pression (§ 2.9.1) au travers d'un tamis à ouvertures de taille adéquate, pour en éliminer les organismes indigènes qui pourraient nuire aux organismes d'expérience. Ces sous-échantillons conviennent aux essais de toxicité et aux analyses chimiques.
- S'il faut des données sur le benthos, il faudrait soumettre des sous-échantillons distincts au tamisage par voie humide au travers d'un tamis à ouvertures de 0,5 mm ou d'une taille adéquate.
- Les organismes retenus dans le tamis peuvent être triés immédiatement afin d'en dénombrer et d'en identifier les espèces ou être déposés dans de l'eau salée, dans un récipient de verre ou de Nalgene^{MD}, pour être soumis au tri dans les 24 heures suivant le prélèvement. Si l'on ne peut procéder de la sorte, on peut utiliser un agent de conservation adéquat et trier l'échantillon à une date ultérieure.
- Tous les sous-échantillons doivent être déposés dans le type adéquat de récipient (*cf.* § 2.8, tableau 7) et mis dans le récipient de transport, après étiquetage dans les règles (*cf.* § 2.8.1).
- Si, pour les fins désignées, il faut un sous-échantillonnage ultérieur au laboratoire, homogénéiser le contenu dans le récipient d'entreposage avant

d'effectuer le sous-échantillonnage (*cf.* § 2.7.1)

Prélèvements par benne

- Déloger soigneusement, sous jet d'eau, tout sédiment adhérent à la face externe de l'échantillonneur qui pourrait contaminer l'échantillon.
- Déposer l'échantillonneur sur une surface (p. ex., table ou plate-forme) stable et d'accès facile.
- Laisser l'échantillon reposer quelques minutes.
- Ouvrir l'échantillonneur par le dessus (ou le côté), puis examiner l'échantillon. Noter son aspect (*cf.* § 2.4). S'il est acceptable (*cf.* § 2.5.4), siphonner l'eau sus-jacente, s'il y a lieu, en veillant à ne pas perturber les sédiments fins superficiels. Jeter cette eau.
- Les mesures sur place peuvent être effectuées sur l'échantillon avant le sous-échantillonnage (*cf.* § 2.4).
- À l'aide d'une pelle revêtue de Teflon® ou d'un carottier à main, retirer les 5 cm supérieurs et les déposer dans un récipient à échantillon, en le remplissant jusqu'au bord.
- Boucher le récipient après avoir complété le volume avec une mince couche d'eau désoxygénée, si nécessaire, pour aider à en chasser l'air.
- Répéter la séparation des horizons du sédiment.
- Si l'échantillonneur ne permet pas l'accès à la surface du contenu, il faut

soigneusement déposer ce dernier dans un récipient en le perturbant le moins possible. On peut ensuite prélever des sous-échantillons à partir du milieu de la masse de l'échantillon, à l'aide d'un carottier à main ou d'une petite pelle.

- Il peut être souhaitable de prélever les sous-échantillons à l'abri de l'oxygène, selon les objectifs de l'étude. La marche à suivre est décrite dans le § 2.7.2.

3.9.4 Récipients à échantillon

- Suivre le mode opératoire recommandé dans le § 2.8.1 et résumé dans le § 2.10.

3.9.5 Transport des échantillons

- Suivre le mode opératoire recommandé dans le § 2.8.3 et résumé dans le § 2.10.

3.9.6 Entreposage des échantillons

- Suivre le mode opératoire recommandé dans le § 2.8.2 et résumé dans le § 2.10, s'il y a lieu, sauf pour ce qui suit :
- Le temps écoulé entre le prélèvement et l'analyse devrait être le plus court possible. Les sédiments destinés à l'analyse des contaminants organiques et inorganiques devraient être préparés et analysés dans les 14 jours (7 de préférence) suivant le prélèvement. Les sédiments destinés aux essais biologiques devraient être débarrassés à la main des organismes indigènes qui pourraient nuire aux organismes d'expérience, le plus tôt possible après le

prélèvement, puis être préparés et servir dans un essai dans les deux semaines qui suivent le prélèvement. On devrait toujours garder les échantillons de sédiment à $4 \pm 2^\circ \text{C}$, dans un récipient bouché hermétiquement et à l'obscurité. Lorsque le tri à la main est inefficace, on soumet les sédiments à un tamisage sous pression mais il faut éviter (si c'est possible) de tamiser les sédiments.

- La durée maximale admissible d'entreposage au froid des sédiments destinés aux essais de toxicité est de six semaines.
- Les matières draguées destinées à l'analyse chimique peuvent être entreposées jusqu'à 60 jours à $-20 \pm 2^\circ \text{C}$.

3.9.7 Préparation des prises d'essai

Les recommandations du § 2.9 (résumées dans le § 2.10) et des § 3.7.1 et 3.7.2 s'appliquent également aux projets de dragage et d'immersion. La préparation des prises d'essai peut comprendre l'élimination des organismes indigènes par tri manuel ou par tamisage sous pression (§ 2.9.1), l'homogénéisation et le partage d'un échantillon en vue de sa répartition entre des récipients d'essai (§ 2.9.1), le séchage, le concassage et le broyage (§ 2.9.2), le tamisage par voie humide (§ 2.9.1) ou l'extraction de l'eau (§ 2.9.3) des sédiments.

Références

- Adams, D.D., "Sampling Sediment Pore Water", *CRC Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling*, A. Mudroch et S.D. MacKnight (éd.) CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, p. 170–202 (1991).
- Adams, D.D., D.A. Darby, et R.J. Young, "Selected Analytical Techniques for Characterizing the Metal Chemistry and Geology of Fine-grained Sediments and Interstitial Water", *Contaminants and Sediments*, R.A. Baker (éd.), Ann Arbor Science Publishers, MI, p. 3 (1980).
- Adams, W.U., R.A. Kimerle, et R.G. Mosher, "Aquatic Safety Assessment of Chemicals Sorbed to Sediments", *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment*, R.D. Cardwell, R. Purdy, et R.C. Bahner (éd.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 429–453 (1985).
- Allen, H.E., G. Fu, et B. Deng, "Analysis of Acid-volatile Sulfide (AVS) and Simultaneously Extracted Metals (SEM) for the Estimation of Potential Toxicity in Aquatic Sediments", *Environ. Toxicol. Chem.*, 12:1441–1453 (1993).
- Allredge, J.R., "Sample Size for Monitoring of Toxic Chemical Sites", *Environ. Monit. Assess.*, 9(2):143–154 (1987).
- Anderson, J., W. Birge, J. Gentile, J. Lake, J. Rodgers, Jr. et R. Swartz, "Biological Effects, Bioaccumulation and Ecotoxicology of Sediment-associated Chemicals", *Fate and Effects of Sediment Bound Chemicals in Aquatic Systems: Proceedings of the 6th Pellston Workshop, Florissant, CO, Aug. 12–17, 1984*, Pergamon Press, New York, NY, pp. 267–296, (1987).
- Ankley, G.T., V.R. Mattson, E.N. Leonard, C.W. West, et J.L. Bennett, "Predicting the Acute Toxicity of Copper in Freshwater Sediments: Evaluation of the Role of Acid-volatile Sulfide", *Environ. Toxicol. Chem.*, 12: 315–320 (1993).
- Ankley, G.T., G.L. Phipps, E.N. Leonard, D.A. Benoit, V.R. Mattson, P.A. Kosian, A.M. Cotter, J.R. Dierkes, D.J. Hansen, et J.D. Mahony, "Acid Volatile Sulfide as a Factor Mediating Cadmium and Nickel Bioavailability in Contaminated Sediments", *Environ. Toxicol. Chem.*, 10:1299–1307 (1991a).
- Ankley, G.T., M.K. Schubauer-Berigan, J.R. Dierkes, et M.T. Lukasewycz, "Sediment Toxicity Identification Evaluation: Phase I (Characterization), Phase II (Identification) and Phase III (Confirmation)", Modifications of Effluent Procedures, National Effluent Toxicity Assessment Centre Technical Report, 68-91, Draft VII, 12 p. (1991b).
- Ankley, G.T., M.K. Schubauer-Berigan, et J.R. Dierkes, "Predicting the Toxicity of Bulk Sediments to Aquatic Organisms with Aqueous Test Fractions: Pore Water Versus Elutriate", *Environ. Toxicol. Chem.*, 10:1359–1366 (1991c).
- ASTM (American Society for Testing and Materials), *Standard Guide for Collection, Storage, Characterization, and Manipulation of Sediments for Toxicological Testing*, 1992 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.04, Section 11, E1391-90, Philadelphia, PA (1992a).
- ASTM, *Standard Guide for Conducting Sediment Toxicity Tests with Freshwater*

- Invertebrates*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.04, Section 11, E1383-92, Philadelphia, PA (1992b).
- ASTM, "Standard Test Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-associated Contaminants with Freshwater Invertebrates", Draft 2/4/94, prepared for ASTM Committee E47, ASTM, Philadelphia, PA, 157+ p. (1995).
- Atkinson, G., "Ocean Dumping Control Act" Sampling: Project U390, Programme d'immersion de déchets en mer, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), 17 p. (1985).
- Atkinson, G., "Guidance Document on Sampling", rapport préparé pour le Programme d'immersion en eau libre du Bureau de la gestion des déchets, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) (1994).
- Barnes, R.O., "An *in-situ* Interstitial Water Sampler for Use in Unconsolidated Sediments", *Deep Sea Res.*, 20:1125-1128 (1973).
- Barth, D.E. et T. Starks, "Sediment Sampling Quality Assurance User's Guide", prepared for Environmental Monitoring Systems Laboratory, United States Environmental Protection Agency, 99 p. (1985).
- Baudo, R., "Sediment Sampling, Mapping, and Data Analysis", *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-place Pollutants*, R. Baudo, J.P. Giesy, et H. Muntau (éd.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, pp.15-60 (1990).
- Baudo, R., J.P. Giesy, et H. Muntau (éd.), *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-place Pollutants*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 405 p. (1990).
- Bauer, J.E., P.A. Montagna, R.B. Spies, M.C. Prieto, et D. Hardin, "Microbial Biogeochemistry and Heterotrophy in Sediments of a Hydrocarbon Seep", *Limnol. Oceanogr.*, 33:1493-1513 (1988).
- Belzile, N., R.R. De Vitre, et A. Tessier, "In-situ Collection of Diagenetic Iron and Manganese Oxyhydroxides from Natural Sediments", *Nature*, 340 (6232):376-377 (1989).
- Bender, M.B., W. Martin, J. Hess, F. Sayles, L. Ball, et C. Lambert, "A Whole-core Squeezer for Interfacial Pore-water Sampling", *Limnol. Oceanogr.*, 32(6):1214-1225 (1987).
- Bennett, J.R., "The Physics of Sediment Transport, Resuspension, and Deposition", *Hydrobiologia*, 149:5-12 (1987).
- Bischoff, J.L., R.E. Green, et A.O. Luistro, "Composition of Interstitial Waters of Marine Sediments: Temperature and Squeezing Effects", *Science*, 167:1245-1246 (1970).
- Blau, K. et G.S. King (éd.), "Acylation", *Handbook of Derivatives for Chromatography*, Hayden, Londres (R.-U.), pp. 104-151 (1977).
- Blomqvist, S., "Sampling Performance of Ekman Grabs - *In-situ* Observations and Design Improvements", *Hydrobiologia*, 206:245-254 (1990).

- Bottomley, E.Z. et I.L. Bayly, "A Sediment Porewater Sampler Used in Root Zone Studies of the Submerged Macrophyte, *Myriophyllum spicatum*", *Limnol. Oceanogr.*, 29:671–673 (1984).
- Bray, J.T., O.P. Bricker, et B.N. Troup, "Phosphate in Interstitial Waters of Anoxic Sediments: Oxidation Effects During Sampling Procedures", *Science*, 180:1362–1364 (1973).
- Brinkman, A.G., W. van Raaphorst, et L. Lijklema, "In-situ Sampling of Interstitial Water from Lake Sediments", *Hydrobiologia*, 92:659–663 (1982).
- Brouwer, H., T. Murphy, et L. McArdle, "A Sediment-contact Bioassay with *Photobacterium phosphoreum*", *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:1353–1358 (1990).
- Bryden, G.W. et L.R. Smith, "Sampling for Environmental Analysis Part 1: Planning and Preparation", *Amer. Lab.*, 21(7):30–39 (1989).
- Buddensiek, V., H. Engel, S. Fleischauer-Rössing, S. Olbrich, et K. Wächtler, "Studies on the Chemistry of Interstitial Water Taken from Defined Horizons in the Fine Sediments of Bivalve Habitats in Several Northern German Lowland Waters, I: Sampling Techniques", *Arch. Hydrobiol.*, 119(1): 55–64 (1990).
- Burgess, R.M., B.A. Rogers, S.A. Rego, J.M. Corbin, et G.E. Morrison, "Sand spiked with Copper as a Reference Toxicant Material for Sediment Toxicity Testing: A Preliminary Evaluation", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 26:163–168 (1994a).
- Burgess, R.M. et G.E. Morrison, "A Short-exposure, Sublethal, Sediment Toxicity Test Using the Marine Bivalve *Mulinia lateralis*: Statistical Design and Comparative Sensitivity", *Environ. Toxicol. Chem.*, 13 (4):571–580 (1994b).
- Burton, G.A. Jr. (éd.), *Sediment Toxicity Assessment*, Lewis Publishers, Inc. Chelsea, MI, 457 p. (1992).
- Burton, G.A. Jr., J.M. Lazorchak, W.T. Waller, et G.R. Lanza, "Arsenic Toxicity Changes in the Presence of Sediment", *Bull. Environ. Contam. Toxicol. Chem.*, 38:491–499 (1987).
- Burton, G.A. Jr., B.L. Stemmer, K.L. Winks, P.E. Ross, et L.C. Burnett, "A Multitrophic Level Evaluation of Sediment Toxicity in Waukegan and Indiana Harbors", *Environ. Toxicol. Chem.*, 8:1057–1066 (1989).
- Cahill, R.A., "Geochemistry of Recent Lake Michigan Sediments", Illinois State Geological Survey, Circular 517, Champaign, IL, 94 p. (1981).
- Cairns, M.A., A.V. Nebeker, J.H. Gakstatter, et W.L. Griffis, "Toxicity of Copper-spiked Sediments to Freshwater Invertebrates", *Environ. Toxicol. Chem.*, 3:435–445 (1984).
- Carignan, R., "Intersitial Water Sampling by Dialysis: Methodological Notes", *Limnol. Oceanogr.*, 29:667–670 (1984).
- Carignan, R. et D.R.S. Lean, "Regeneration of Dissolved Substances in a Seasonally Anoxic Lake: The Relative Importance of Processes Occurring in the Water Column and in the Sediments", *Limnol. Oceanogr.*, 36(4):683–707 (1991).

- Carignan, R. et A. Tessier, "Zinc Deposition in Acid Lakes: The Role of Diffusion", *Science*, 228:1524–1528 (1985).
- Carignan, R., F. Rapin, et A. Tessier, "Sediment Porewater Sampling for Metal Analysis: A Comparison of Techniques", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49:2493–2497 (1985).
- Carignan, R., S. St-Pierre, et R. Gächter, "Use of Diffusion Samplers in Oligotrophic Lake Sediments: Effect of Free Oxygen in Sampler Material", *Limnol. Oceanogr.*, 39(2):468–474 (1994).
- Carr, R.S. et D.C. Chapman, "Comparison of Methods for Conducting Marine and Estuarine Sediment Porewater Toxicity Tests-extraction, Storage, and Handling Techniques", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 28:69–77 (1995).
- Carr, R.S. et D.C. Chapman, "Comparison of Solid-phase and Pore-water Approaches for Assessing the Quality of Marine and Estuarine Sediments", *Chem. Ecol.*, 7:19–30 (1992).
- Carr, R.S., J.W. Williams, et C.T.B. Fragata, "Development and Evaluation of a Novel Marine Sediment Pore Water Toxicity Test with the Polychaete *Dinophilus gyrociliatus*", *Environ. Toxicol. Chem.*, 8:533–543 (1989).
- Casas, A.M. et E.A. Crecelius, "Relationship Between Acid Volatile Sulfide and the Toxicity of Zinc, Lead and Copper in Marine Sediments", *Environ. Toxicol. Chem.*, 13(3):529–536 (1994).
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement), "Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés, volume I: rapport principal", rapport EPC-NCS62F sur le Programme national d'assainissement des lieux contaminés, Ottawa (Ontario), 79 p. (1993).
- Centre St.-Laurent, "Guide méthodologique pour la caractérisation des sédiments", Conservation et Protection, Environnement Canada - Centre Saint-Laurent et ministère de l'Environnement du Québec, Longueuil (Québec), 144 p. (1992).
- Chapman, P.M., "Marine Sediment Toxicity Tests", *Chemical and Biological Characterization of Sludges, Sediments, Dredge Spoils and Drilling Muds*, J.J. Lichtenberg, F.A. Winter, C.I. Weber, et L. Fradkin (éd.), STP 976, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 391–402 (1988).
- Clark, J.R., J.M. Patrick, Jr., J.C. Moore, et E.M. Lores, "Waterborne and Sediment-source Toxicities of Six Organic Chemicals to Grass Shrimp (*Palaemonetes pugio*) and Amphioxus (*Branchiostoma caribaeum*)", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 16:401–407 (1987).
- Cleveland, L., J.J. Coyle, C.G. Ingersoll, et E.A. Crecelius, "Great Lake Areas of Concern: Sediment Pore-water and Elutriate Chemistry and Toxicity of Elutriates to *Daphnia magna* and *Photobacterium phosphoreum* (Microtox)", *Environ. Toxicol. Chem.*, (1995).
- CMI (Commission mixte internationale), "Procedures for the Assessment of Contaminated Sediment Problems in the

- Great Lakes”, Sediment Subcommittee and its Assessment Work Group, 140 p. (1988).
- Cohen, J. (éd.), *Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences*, Academic Press, New York, NY, pp. 52–68 (1977).
- Crevello, P.D., J.M. Rine et D.E. Lanesky, “A Method for Impregnating Unconsolidated Cores and Slabs of Calcareous and Terrigenous Muds”, *J. Sed. Petrol.*, 51:658–660 (1981).
- Day, K.E., [chercheur, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario)], communication personnelle (1993).
- Day, K.E., R. Scott Kirby et T.B. Reynoldson, “The Effect of Manipulations of Freshwater Sediments on Responses of Benthic Invertebrates in Whole-sediment Toxicity Tests”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 14 (8): 1333-1343 (1995).
- de Groot, A.J. et K.H. Zschuppe, “Contribution to the Standardization of the Methods of Analysis for Heavy Metals in Sediments”, *Rapp. P.-v. Reun. cons. Int. Explor. Mer.*, 181:111–122 (1981).
- DeWitt, T.H., R.C. Swartz, et J.O. Lamberson, “Measuring the Acute Toxicity of Estuarine Sediments”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 8:1035–1048 (1989).
- Di Toro, D.M., “A Review of the Data Supporting the Equilibrium Partitioning Approach to Establishing Sediment Quality Criteria”, report to the National Research Council (cité par Baudo, 1990) (1989).
- Di Toro, D.M., J.D. Mahony, D.J. Hansen, K.J. Scott, M.B. Hicks, S.M. Mayr, et M.S. Richmond, “Toxicity of Cadmium in Sediments: the Role of Acid Volatile Sulfide”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:1487–1502 (1990).
- Di Toro, D.M., J.D. Mahony, D.J. Hansen, K.J. Scott, A.R. Carlson, et G.T. Ankley, “Acid Volatile Sulfide Predicts the Acute Toxicity of Cadmium and Nickel in Sediments”, *Environ. Sci. Technol.*, 26:96–101 (1992).
- Ditsworth, G.R., D.W. Schults, et J.K.P. Jones, “Preparation of Benthic Substrates for Sediment Toxicity Testing”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:1523–1529 (1990).
- Downing, J.A. et L.C. Rath, “Spatial Patchiness in the Lacustrine Sedimentary Environment”, *Limnol. Oceanogr.*, 33:447–458 (1988).
- EC (Environnement Canada), “Échantillonnage pour la qualité de l’eau”, Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures Ottawa (Ontario), 55 p. (1983).
- EC, “Sampling and Analysis in the Arctic Marine Benthic Environment, Volume I: Review of Methods”, Service de la protection de l’environnement, Ottawa (Ontario) (1985).
- EC, “Bottle Washing Procedures”, Laboratoire national de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario) (1989).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai de létalité aiguë sur la truite arc-en-ciel”, Série de la Protection de l’environnement,

- SPE 1/RM/9, Ottawa (Ontario), 53 p. (1990a).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai de létalité aiguë sur l’épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*)”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/10, Ottawa (Ontario), 49 p. (1990b).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai de létalité aiguë sur *Daphnia* spp.”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/11, Ottawa, Ontario, 61 p. (1990c).
- EC, “Technical Guidance Manual for Aquatic Environmental Effects Monitoring at Pulp and Paper Mills: Volume 2 Methodology”, Environnement Canada et ministère des Pêches et Océans, Ottawa, (Ontario), 199 p. (1991).
- EC, Méthode d’essai biologique : essai de reproduction et de survie sur le Cladocère *Ceriodaphnia dubia*”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/21, Ottawa (Ontario), 78 p. (1992a).
- EC, Méthode d’essai biologique : essai de croissance et de survie sur des larves de tête-de-boule”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/22, Ottawa (Ontario), 72 p. (1992b).
- EC, Méthode d’essai biologique : essai sur la fécondation chez les échinides (oursins verts et oursins plats), Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/27, Ottawa (Ontario), 97 p. (1992c).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai de toxicité aiguë de sédiments chez des amphipodes marins ou estuariens”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/26, Ottawa (Ontario), 99 p. (1992d).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai de toxicité sur la bactérie luminescente *Photobacterium phosphoreum*”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/24, Ottawa (Ontario), 67 p. (1992e).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai d’inhibition de la croissance de l’algue d’eau douce *Selenastrum capricornutum*”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/25, Ottawa (Ontario), 43 p. (1992f).
- EC, “Méthode d’essai biologique : essai de toxicité sur des salmonidés aux premiers stades de leur cycle biologique (truite arc-en-ciel, saumon coho ou saumon de l’Atlantique)”, Série de la Protection de l’environnement, SPE 1/RM/28, Ottawa (Ontario), 87 p. (1992g).
- EC, Directives provisoires sur la surveillance dans le cadre de l’immersion en mer”, Division du milieu marin, Ottawa (Ontario), 34 p. (1993).
- EC “Draft Technical Guidance on Physical monitoring”, document préparé par Seaconsult Marine Research Ltd., Coastal and Ocean Resources Inc. et le Bureau de la gestion des déchets, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) (1994a).
- EC, “Guide d’utilisation de la formule “Demande de permis (immersion en mer)”, Division du milieu marin, Service de la protection de l’environnement (1995a).
- EC, “Document d’orientation sur la mesure de la précision d’essais de toxicité au moyen de sédiments de contrôle additionnés d’un produit toxique de référence”, Série de la protection de l’environnement, SPE 1/RM/30 (1995b).

- EC, "Essais de croissance et de survie de l'amphipode d'eau douce *Hyalella azteca* dans des sédiments", Série de la protection de l'environnement (à paraître).
- EC, "Essais de croissance et de survie de larves des moucheron d'eau douce *Chironomus tentans* ou *Chironomus riparius* dans des sédiments", Série de la protection de l'environnement (à paraître).
- Edmunds, W.M. et A.H. Bath, "Centrifuge Extraction and Chemical Analysis of Interstitial Waters", *Environ. Sci. Tech.*, 10(5):467-492 (1976).
- Emerson, S., R. Jahnke, M. Bender, P. Froelich, G. Klinkhammer, C. Bowser, et G. Setlock, "Early Diagenesis in Sediments from the Eastern Equatorial Pacific, I. Pore Water Nutrient and Carbonate Results", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 49:57 (1980) (cité par Adams, 1991).
- Flegal, A.R., R.W. Risebrough, B. Anderson, J. Hunt, S. Anderson, J. Oliver, M. Stephenson, et R. Pickard, "San Francisco Estuary Pilot Regional Monitoring Program: Sediment Studies", San Francisco Bay Regional Water Quality Control Board/State Water Resources Control Board, Oakland, CA (1994).
- Friedman, H., "Simplified Determinations of Power, Magnitude of Effect and Research Sample Sizes", *Educ. Psychol. Meas.*, 42:521-527 (1982).
- Froelich, P.N., G.P. Klinkhammer, M.L. Bender, N.A. Luedtke, G.R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, D. Hammond, B. Hartmann, et V. Maynard, "Early Oxidation of Organic Matter in Pelagic Sediments of the Eastern Equatorial Atlantic: Suboxic Diagenesis", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43:1075-1090 (1979).
- Garner, F.C., M.A. Stapanian, et L.R. Williams, "Composite Sampling for Environmental Sampling", *Principles of Environmental Sampling*, L.H. Keith (éd.), American Chemical Society, Washington DC, 363 p. (1988).
- Giam, C.S. et M.K. Wong, "Problems of Background Contamination in the Analysis of Open Ocean Biota for Chlorinated Hydrocarbons", *J. Chromatogr.*, 72:283-292 (1972).
- Giesy, J.P., (Department of Fisheries and Wildlife, Michigan State University, East Lansing, MI), communication personnelle, (1992).
- Giesy, J.P., et R.A. Hoke, "Freshwater Sediment Quality Criteria: Toxicity Bioassessment", *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-place Pollutants*, R. Baudo, J.P. Giesy and H. Muntau (éd.), Lewis Publishers, Inc. Chelsea, MI, p. 265-348 (1990).
- Giesy, J.P., C.J. Rosiu, R.L. Graney, et M.G. Henry, "Benthic Invertebrate Bioassays with Toxic Sediment and Pore Water", *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:233-248 (1990).
- Ginsburg, R.N., H.A. Bernard, R.A. Moody, et E.E. Daigle, "The Shell Method of Impregnating Cores of Unconsolidated Sediments", *J. Sed. Petrol.*, 36:1118-1125 (1966).
- Glass, G.E. et J.E. Poldoski, "Interstitial Water Components and Exchange Across the Water Sediment Interface in Lake Superior", *Berh. Int. Verhin. Limnol.*, 19:405-420 (1975).
- Golterman, H.L., P.G. Sly, et R.L. Thomas, *Study of the Relationship Between Water*

- Quality and Sediment Transport*, publié par l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), Mayenne, France, 231 p. (1983).
- Green, R.H., *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*, Wiley Interscience, New York, NY, 257 p. (1979).
- Green, R.H., "Power Analysis and Practical Strategies for Environmental Monitoring", *Environ. Res.*, 50:195–205 (1989).
- Guenther, W.C., "Sample Size Formulas for Normal Theory, T-tests", *Amer. Stat.*, 35:243–244 (1981).
- Guenther, W.C., "Normal Theory Sample Size Formulas for Some Non-normal Distributions", *Commun. Stat.*, B11:727–732 (1982).
- Guigné, J.Y., N. Rukavina, P.H. Hunt, et J.S. Ford, "An Acoustic Parametric Array for Measuring the Thickness and Stratigraphy of Contaminated Sediments", *J. Great Lakes Res.*, 17(1):120–131 (1991).
- Haddock, J.D., P.F. Landrum et J.P. Giesy, "Extraction Efficiency of Anthracene from Sediments", *Anal. Chem.*, 55:1197–1200 (1983).
- Håkanson, L., "Sediment Sampling in Different Aquatic Environments: Statistical Aspects", *Water Resour. Res.*, 20:41–46 (1984).
- Håkanson, L. and M. Jansson, *Principles of Lake Sedimentology*, Springer-Verlag, Berlin (Allemagne), 316 p., (1983).
- Hardy, J.T., S. Kiesser, L. Antrim, A. Stubin, R. Kocan, et J. Strand, "The Sea-surface Microlayer of Puget Sound: Part I. Toxic Effects on Fish Eggs and Larvae", *Marine Environ. Res.*, 23:227–249 (1987).
- Harkey, G.A., P.F. Landrum, et S.J. Kaine, "Comparison of Whole-sediment, Elutriate, and Pore-water Exposures for Use in Assessing Sediment-associated Organic Contaminants in Bioassays", *Environ. Toxicol. Chem.*, 13(8):1315–1329 (1994).
- Henrikson, A. et R.F. Wright, "Effects of Acid Precipitation on a Small Acid Lake in Southern Norway", *Nord. Hydrol.*, 8:1–10 (1977).
- Hertkorn-Obst, U., H. Wendeler, T. Feuerstein, et W. Schmitz, "A Device for Sampling Interstitial Water Out of River and Lake Beds", *Environ. Technol. Lett.* 3:263 (1982).
- Hesslein, R.H., "An *in-situ* Sampler for Close Interval Pore Water Studies", *Limnol. Oceanogr.*, 21:912–914 (1976).
- Hesslein, R.H., [ministère des Pêches et Océans, Winnipeg (Manitoba)], communication personnelle (1993).
- Hickey, C.W., [NIWA Ecosystems, National Institute of Water and Atmospheric Research, Hamilton (Nouvelle-Zélande)], communication personnelle (1994).
- Hilton, J., J.P. Lishman, et P.V. Allen, "The Dominant Processes of Sediment Distribution and Focusing in a Small, Eutrophic, Monomictic Lake", *Limnol. Oceanogr.*, 31:125–133 (1986).

- Hines, M.E., S.L. Knollmeyer, et J.B. Tugel, "Sulfate Reduction and Other Sedimentary Biogeochemistry in a Northern New England Salt Marsh", *Limnol. Oceanogr.*, 34:578–584 (1989).
- Hoke, R.A., J.P. Giesy, G.R. Ankley, J.L. Newsted, et J. Adams, "Toxicity of Sediments from Western Lake Erie and Maumee River at Toledo, Ohio, 1987: Implications for Current Dredged Material Disposal Practices", *J. Great Lakes Res.*, 16 (3):457–470 (1990).
- Holland, P.T., C.W. Hickey, D.S. Roper, et T.M. Trower, "Variability of Organic Contaminants in Inter-tidal Sandflat Sediments from Manukau Harbour, New Zealand", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 25:456–463 (1993).
- Hood, M.A. et G.E. Ness, "Survival of *Vibrio cholerae* and *Escherichia coli* on Estuarine Waters and Sediments", *Appl. Environ. Microbiol.*, 43:578–584 (1982).
- Howes, B.L., J.W.H. Dacey, et S.G. Wakeham, "Effects of Sampling Technique on Measurements of Porewater Constituents in Salt Marsh Sediments", *Limnol. Oceanogr.*, 30(1):221–227 (1985).
- Hurlbert, M.H. et M.P. Brindle, "Effects of Sample Handling on the Composition of Marine Sedimentary Pore Water", *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86:109–110 (1975).
- Ingersoll, C.G. et M.K. Nelson, Testing Sediment Toxicity with *Hyalella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera), pp. 93–109, in: *Aquatic Toxicology and Risk Assessment, Volume 13*, W.G. Landis et W.H. van der Schalie (eds.) ASTM STP 1096, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, p. 93–109 (1990).
- Jahnke, R.A., "A Simple, Reliable, and Inexpensive Pore-water Sampler", *Limnol. Oceanogr.*, 33:483–487 (1988).
- Jenne, E.A. et J.M. Zachara, "Factors Influencing the Sorption of Metals", *Fate and Effects of Sediment-bound Chemicals in Aquatic Systems: Proceedings of the 6th Pellston Workshop, Florissant, CO, Aug. 12–17, 1984*, Pergamon Press, New York, NY, p. 83–98 (1987).
- Johns, D.M., R.A. Pastorok, et T.C. Ginn, "A Sublethal Sediment Toxicity Test Using Juvenile *Neanthes* sp. (Polychaeta: Nereidae)", *Aquatic Toxicology and Risk Assessment, Volume 14*, M.A. Mayes et M.G. Barron (éds.), ASTM STP 1124, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, p. 280–293 (1991).
- Keilty, T.J., D.S. White, et P.F. Landrum, "Sublethal Responses to Endrin in Sediment by *Limnodrilus hoffmeisteri* (Tubificidae) and in Mixed-culture with *Stygodrilus heringianus* (Lumbriculidae)", *Aquat. Toxicol.*, 13:251–270 (1998a).
- Keilty, T.J., D.S. White, et P.F. Landrum, "Sublethal Responses to Endrin in Sediment by *Stygodrilus heringianus* (Lumbriculidae) as Measured by a ¹³⁷Cesium Marker Layer Technique", *Aquat. Toxicol.*, 13:227–250 (1988b).
- Keilty, T.J., D.S. White, et P.F. Landrum, "Short-term Lethality and Sediment Avoidance Assays with Endrin-contaminated Sediment and Two Oligochaetes from Lake Michigan", *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 17:95–101 (1988c).

- Keith, L.H., "Environmental Sampling: A Summary", *Environ. Sci. Technol.*, 24:610–617 (1990).
- Keith, L.H., *Environmental Sampling and Analysis: A Practical Guide*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 143 p. (1992).
- Kelly, C.A., J.W.M. Rudd, A. Furutani, et D.W. Schindler, "Effects of Lake Acidification on Rates of Organic Matter Decomposition in Sediments", *Limnol. Oceanogr.*, 29:687–694 (1984).
- Kemble, N.E., J.M. Besserr, W.G. Brumbaugh, E.L. Brunson, T.J. Canfield, J.J. Coyle, F.J. Dwyer, J.F. Fairchild, C.G. Ingersoll, T.W. La Point, J.C. Meadows, D.P. Mondo, B.C. Poulton, D.F. Woodward, et J.L. Zájicek, "Sediment Toxicology", *Effects of Metal-contaminated Sediment, Water, and Diet on Aquatic Organisms*, C.A. Ingersoll, W.G. Brumbaugh, A.M. Farag, T.W. La Point, and D.F. Woodward (éd.), U.S. Environmental Protection Agency, Helena, MT, p. 2-1–2-100 (1993).
- Klinkhammer, G.P., "Early Diagenesis in Sediments from the Equatorial Pacific. II. Pore Water Metal Results", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 49:81–101 (1980).
- Knezovich, J.P. et F.L. Harrison, "A New Method for Determining the Concentrations of Volatile Organic Compounds in Sediment Interstitial Water", *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 38:937–940 (1987).
- Knezovich, J.P. et F.L. Harrison, "The Bioavailability of Sediment-sorbed Chlorobenzenes to Larvae of the Midge, *Chironomus decorus*", *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 15:226–241 (1988).
- Knezovich, J.P., F.L. Harrison, et R.G. Wilhelm, "The Bioavailability of Sediment-sorbed Organic Chemicals: A Review", *Water Air Soil Pollut.*, 32:233–245 (1987).
- Kratochvil, B. et J.K. Taylor, "Sampling for Chemical Analysis", *Anal. Chem.*, 53:924A–938A (1981).
- Kriukov, P.A. et F.T. Manheim, "Extraction and Investigative Techniques for Study of Interstitial Waters of Unconsolidated Sediments: A Review", *The Dynamic Environment of the Ocean Floor*, K.A. Fanning and F.T. Manheim (éd.), Lexington Books, Washington, DC, p. 3–26 (1982).
- Kupper, L.L. et K.B. Hafner, "How Appropriate are Popular Sample Size Formulas?", *Amer. Stat.*, 43:101–105 (1989).
- Lam, J., "Phthalates in Filter Paper", *Chem. Ind. Eng.*, 43:1837 (1967).
- Lamberson, J.O. et R.C. Swartz, "Use of Bioassays in Determining the Toxicity of Sediment to Benthic Organisms", *Toxic Contaminants and Ecosystem Health: A Great Lakes Focus*. M.S. Evans (éd.), John Wiley and Sons, New York, NY, p. 257–279 (1988).
- Landrum, P.F. et W.R. Faust, "Effect of Variation in Sediment Composition on the Uptake Rate Coefficient for Selected PCB and PAH Congeners by the Amphipod, *Diporeia* sp.", *Aquatic Toxicology and Risk Assessment, Volume 14*, M.A. Mayes et M.G. Barron (éd.), STP 1124, American Association for Testing and Materials, Philadelphia, PA, p. 263–279 (1991).

- Landrum, P.F., B.J. Eadie, et W.R. Faust, "Variation in the Bioavailability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons to the Amphipod *Diporeia* (spp.) with Sediment Aging", *Environ. Toxicol. Chem.*, *11*:1197–1208 (1992).
- Lanesky, D.E., B.W. Logan, R.G. Brown, et A.C. Hine, "A New Approach to Portable Vibracoring Underwater and on Land", *J. Sed. Petrol.*, *49*:654–647 (1979).
- Lawless, J.P. et J.W. Padan, "Developing Deep Seabed Minerals", *Sea Technol.*, *27*: 1–45 (1986).
- Lee, G.F. et R.A. Jones, "Water Quality Significance of Contaminants Associated with Sediments: An Overview", *Fate and Effects of Sediment-bound Chemicals in Aquatic Systems*, K.L. Dickson, A.W. Maki, et W.A. Brungs (éd.), Pergamon Press, New York, NY, p. 1–34 (1984).
- Lesht, B.M., "Non-parametric Evaluation of the Size of Limnological Sampling Networks: Application to the Design Survey of Green Bay", *J. Great Lakes Res.*, *14*:325–337 (1988).
- Levi, I. et T.W. Novicki, "Interfering GLC Peaks from Materials and Chemicals in Pesticide Residue Analysis", *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, *7*:193–199 (1972).
- Lonneman, W.A., J.J. Bufilini, R.L. Kuntz, et S.A. Meeks, "Contamination from Fluorocarbon Films", *Environ. Sci. Technol.*, *15*:99–103 (1981).
- Loring, D.H. et R.T.T. Rantala, "Manual for the Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter", *Earth-Sci. Rev.*, *32*:235–283 (1992).
- Lydy, M.J., K.A. Bruner, K.A. Fry, et S.W. Fisher, "Effects of Sediment and the Route of Exposure on the Toxicity and Accumulation of Neutral Lipophilic and Moderately Water Soluble Metabolizable Compounds in the Midge, *Chironomus riparius*", *Aquatic Toxicology and Risk Assessment, Volume 13*, W.G. Landis, et W.H. van der Schalie (éd.), ASTM STP 1096, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, p. 140–164 (1990).
- Lyons, W.B., H.E. Gaudette, et G.M. Smith, "Pore Water Sampling in Anoxic Carbonate Sediments: Oxidation Artifacts", *Nature*, *277*:48–49 (1979).
- Malcolm, S.J., P.J. Kershaw, M.B. Lovett, et B.R. Harvey, "The Interstitial Water Chemistry of ^{239,240}Pu and ²⁴¹Am in the Sediments of the North-East Irish Sea", *Geochim. Cosmochim. Acta*, *54*:29–35 (1990).
- Malueg, K.W., G.S. Schuytema, et D.F. Krawczyk, "Effects of Sample Storage on a Copper-spiked Freshwater Sediment", *Environ. Toxicol. Chem.*, *5*:245–253 (1986).
- Manheim, F.T., "Interstitial Waters of Marine Sediment", *Chemical Oceanography, Volume 6*, J.P. Riley et R. Chester (éds.), Academic Press, New York, NY, p. 115 (1976).
- Martens, C.S. et J.V. Klump, "Biochemical Cycling in an Organic-rich Coastal Marine Basin, I. Methane Sediment-water Exchange Processes", *Geochim. Cosmochim. Acta*, *44*:471–490 (1980).
- Mayer, L.M., "Chemical Water Sampling in Lakes and Sediments with Dialysis

- Bags”, *Limnol. Oceanogr.*, 21:909–911 (1976).
- Milton, J.S., J.J. Corbet, et P.M. McTeer, *Introduction to Statistics*, D.C Heath and Company, Toronto, Ontario, 517 p. (1986).
- Montgomery, J.R., M.T. Price, J. Holt, et C. Zimmermann, “A Close-interval Sampler for Collection of Sediment Pore Waters for Nutrient Analyses”, *Estuaries*, 4:75–77 (1981).
- Montgomery, J.R., C.F. Zimmerman, et M.T. Price, “The Collection, Analysis and Variation of Nutrients in Estuarine Pore Water”, *Estuarine Coastal Mar. Sci.*, 9:203–214 (1979).
- Moody, J.R. et R.M. Lindstrom, “Selection and Cleaning of Plastic Containers for Storage of Trace Element Samples”, *Anal. Chem.*, 49(14):2264–2267 (1977).
- Mudie, P.J., D.J.W. Piper, K. Rideout, K.R. Robertson, C.T. Schafer, G. Vilks, et I.A. Hardy, “Standard Methods for Collecting, Describing, and Sampling Quaternary Sediments at the Atlantic Geoscience Centre”, Commission géologique du Canada, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), 38+ p. (1984).
- Mudroch, A., [scientifique, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario)], communication personnelle (1992).
- Mudroch, A. et S.D. MacKnight, *CRC Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling*, CRC Press, Boca Raton, FL 210 p. (1991).
- Muir, D.C.G., N.P. Grift, B.E. Townsend, D.A. Metner, et W.L. Lockhart, “Comparison of the Uptake and Bioconcentration of Fluridone and Terbutryn by Rainbow Trout and *Chironomus tentans* in Sediment and Water Systems”, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 11:595–602 (1982).
- Muir, D.C.G., G.P. Rawn, B.E. Townsend, W.L. Lockhart, et R. Greenhalgh, “Bioconcentration of Cypermethrin, Deltamethrin, Fenvalerate and Permethrin by *Chironomus tentans* Larvae in Sediment and Water”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 4:51–61 (1985).
- Murray, J.W. et V. Grundmanis, “Oxygen Consumption in Pelagic Marine Sediments”, *Science*, 209:1527–1530 (1980).
- Nath, B.N., V.S. Rajaraman, et A.V. Mudholkar, “Modified Interstitial Water Squeezer for Trace Metal Analysis”, *Indian J. Marine Sci.*, 17:71–72 (1988).
- Nebeker, A.V., M.A. Cairns, J.H. Gakstatter, K.W. Malueg, G.S. Schuyttema, et D.R. Krawczyk, “Biological Methods for Determining Toxicity of Contaminated Freshwater Sediments to Invertebrates”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 3:617–630 (1984).
- Nelson, M.K., J.J. Coyle, et G.A. Burton, “Testing the Toxicity of Field Collected Freshwater Sediments”, *Midwest Pollution Control Biologists Meeting*, United States Environmental Protection Agency, Region 5 (1991).
- Nelson, M.K., J.J. Coyle, L.B. King, N.E. Kemble, E.A. Crecelius, et L.E. Greer, “Whole Sediment Toxicity Tests. Biological Assessment of Contaminated

- Great Lakes Sediment”, *Final Report, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments*, United States Environmental Protection Agency, Great Lakes National Program Office, Chicago, IL (1992).
- Nishimura, A., “Bottom Sampling and Photographing on the Southeastern Offshore of the Boso Peninsula”, *Cruise Rep. Geol. Surv. Jap.*, 19:54–66 (1984).
- Novicki, H.G., C.A. Kieda, R.F. Devine, V. Current, et T.H. Schaefers, “Identification of Organic Compounds Extracted from Paper and Glass Soxhlet Thimbles”, *Anal. Lett.*, A12:769–776 (1979).
- Othoudt, R.A., J.P. Geisy, K.R. Grzyb, D.A. Verbrugge, R.A. Hoke, J.B. Drake, et D. Anderson, “Evaluation of the Effects of Storage Time on the Toxicity of Sediments”, *Chemosphere*, 22(9-10):801–807 (1991).
- Pastorok, R.A. et D.S. Becker, “Comparative Sensitivity of Sediment Toxicity Bioassays at Three Superfund Sites in Puget Sound”, *Aquatic Toxicology and Risk Assessment: Volume 13*, W.G. Landis et W.H. van der Schalie (éd.), ASTM STP 1096, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, p. 123–139, (1990).
- Patrick, W.H. Jr., R.P. Gambrell, et R.A. Khalid, “Physicochemical Factors Regulating Solubility and Bioavailability of Toxic Heavy Metals in Contaminated Dredged Sediment”, *J. Environ. Sci. Health*, A12: 475–492 (1977).
- Persaud, D., T.D. Lomas, et A. Hayton, The In-place Pollutants Program, Volume III. Phase I Studies, Section de biologie aquatique, Direction des ressources en eau, ministère d’Environnement de l’Ontario, Toronto, Ontario, 94 p. (1988).
- Plumb, R.H., Jr., “Sampling, Preservation, and Analysis of Sediment Samples: State-of-the-art Limitations”, *Fifth US/Japan Experts Meeting in the Management of Sediments Containing Toxic Substances*, New Orleans, LA (26–28 novembre, 1979).
- Plumb, R.H., Jr., Procedures for Handling and Chemical Analysis of Sediment and Water Samples, Environmental Protection Agency/Corps of Engineers Technical Committee on Criteria for Dredged and Fill Material, Contract EPA-4805572010, EPA/CE-81-1, 478 p. (1981).
- Power, E.A. et P.M. Chapman, “Assessing Sediment Quality”, *Sediment Toxicity Assessment*, G.A. Burton, Jr. (éd.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, p. 1–18 (1992).
- Rapin, F., A. Tessier, P.G.C. Campbell, et R. Carignan, “Potential Artifacts in the Determination of Metal Partitioning in Sediments by a Sequential Extraction Procedure”, *Environ. Sci. Technol.*, 20:836–840 (1986).
- Redmond, M.S. et K.J. Scott, “Amphipod Predation by the Infaunal Polychaete, *Nephtys incisa*”, *Estuaries*, 12:205–207 (1989).
- Reeburgh, W.S., “An Improved Interstitial Water Sampler”, *Limnol. Oceanogr.*, 12:163–165 (1967).
- Reynoldson, T.B., K.E. Day, C. Clarke, et D. Milani, “Effect of Indigenous Animals on Chronic End Points in Freshwater

- Sediment Toxicity Tests”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 13:973–977 (1994).
- Robinson, A.M., J.O. Lamberson, F.A. Cole, et R.C. Swartz, “Effects of Culture Conditions on the Sensitivity of a Phoxocephalid Amphipod, *Rhepoxynius abronius*, to Cadmium in Sediment”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 7:953–959 (1988).
- Rochon, R. et M. Chevalier, Sediment Sampling and Preservation Methods for Dredging Projects, Conservation and Protection, Environment Canada, Ottawa, Canada (1987).
- Rutledge, P.A. et J. Fleeger, Laboratory Studies on Core Sampling with Application to Subtidal Meiobenthos Collection, *Limnol. Oceanogr.*, 33:274–280 (1988).
- Saager, P.M., J-P. Sweerts, et H.J. Ellermeijer, “A Simple Pore-water Sampler for Coarse, Sandy Sediments of Low Porosity”, *Limnol. Oceanogr.*, 35(3):747–751 (1990).
- Sayles, F.L. et F.T. Manheim, “Interstitial Solutions and Diagenesis in Deeply Buried Marine Sediments: Results from the Deep Sea Drilling Project”, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39:103–127 (1975).
- Sayles, F.L., P.C. Mangelsdorf, Jr., T.R.S. Wilson, et D.N. Hume, “A Sampler for the *in-situ* Collection of Marine Sedimentary Pore Waters”, *Deep Sea Res.*, 23:259–264 (1976).
- Sayles, F.L., T.R.S. Wilson, D.N. Hume, et P.C. Mangelsdorf, Jr., “*In-situ* Sampler for Marine Sedimentary Pore Waters: Evidence for Potassium Depletion and Calcium Enrichment”, *Science*, 181:154–156 (1973).
- Schneider, D.C., J.M. Gagnon, et K.D. Gilkinson, “Patchiness of Epibenthic Megafauna on the Outer Grand Banks off Newfoundland”, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 39:1–13 (1987).
- Schock, S.G., L.R. LeBlanc, et L.A. Mayer, “Chirp Subbottom Profiler for Quantitative Sediment Analysis”, *Geophysics*, 54(4):445–450 (1989).
- Schuytema, G.S., P.O. Nelson, K.W. Malueg, A.V. Nebeker, D.F. Krawczyk, A.K. Ratcliff, et J.H. Gakstatter, “Toxicity of Cadmium in Water and Sediment to *Daphnia magna*”, *Environ. Toxicol. Chem.*, 3:293–308 (1984).
- Shaner, S.W. et A.W. Knight, “The Role of Alkalinity in the Mortality of *Daphnia magna* in Bioassays of Sediment-bound Copper”, *Comp. Biochem. Physiol.*, 82C:273–277 (1985).
- Simon, N.S., M.M. Kennedy, et C.S. Massoni, “Evaluation and Use of a Diffusion-controlled Sampler for Determining Chemical and Dissolved Oxygen Gradients at the Sediment-water Interface”, *Hydrobiologia* 126:135–141 (1985).
- Skei, J.M., “A Review of Assessment and Remediation Strategies for Hot Spot Sediments”, *Hydrobiologia*, 235/236:629–638 (1992).
- Sly, P.G., “Sedimentary Processes in Lakes”, *Lakes: Chemistry Geology Physics*, A. Lerman (éd.), Springer-Verlag, New York, NY, p. 65-89, (1978).

- Sly, P.G. et W.J. Christie, "Factors Influencing Densities and Distributions of *Pontoporeia hoyi* in Lake Ontario", *Hydrobiologia*, 235/236:321–352 (1992).
- Smith, J.N., B.P. Boudreau, et V. Noshkin, "Plutonium and ²¹⁰Pb Distributions in Northeast Atlantic Sediments: Subsurface Anomalies Caused by Non-local Mixing", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 81:15–28 (1986).
- Steel, R.G.D. et J.H. Torrie, *Principles and Procedures of Statistics*, McGraw-Hill, New York, NY (1980).
- Stemmer, B.L., G.A. Burton, Jr., et S. Leibfritz-Frederick, "Effects of Sediment Test Variables on Selenium Toxicity to *Daphnia magna*", *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:381–389 (1990a).
- Stemmer, B.L., G.A. Burton, Jr., et G. Sasson-Brickson, "Effect of Sediment Spatial Variance and Collection Method on Cladoceran Toxicity and Indigenous Microbial Activity Determinations", *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:1035–1044 (1990b).
- Suedel, B.C. et J.H. Rodgers, "Variability of Bottom Sediment Characteristics of the Continental United States", *Wat. Res. Bull.*, 27(1):101–109 (1991).
- Suedel, B.C. et J.H. Rodgers, "Development of Formulated Reference Sediment for Freshwater and Estuarine Sediment Testing", *Environ. Toxicol. Chem.*, 13:1163–1175 (1994).
- Swartz, R.S., W.A. DeBen, J.K.P. Jones, J.O. Lamberson, et F.A. Cole, "Phoxocephalid Amphipod Bioassay for Marine Sediment Toxicity", *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Volume 7*, R.D. Cardwell, R. Purdy, et R.C. Bahner (éds.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, p. 284–307 (1985).
- Swartz, R.S., D.W. Schults, T.H. DeWitt, G.R. Ditsworth, et J.O. Lambertson, "Toxicity of Fluoranthene in Sediment to Marine Amphipods: A Test of the Equilibrium Partitioning Approach to Sediment Quality Criteria", *Environ. Toxicol. Chem.*, 9:1071–1080 (1990).
- Tessier, A., R. Carignan, B. Dubreuil, et F. Rapin: "Partitioning of Zinc Between the Water Column and the Oxidic Sediments in Lakes", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53:1511–1522 (1989).
- Tetra Tech, "Recommended Protocols for Measuring Organic Compounds in Puget Sound Sediment and Tissue Samples", prepared for Office of Puget Sound Region 10, United States Environmental Protection Agency, Seattle, WA (cité par USEPA, 1987) (1986).
- Thomas, R.L., J-M. Jaquet, A.L.W. Kemp, et C.F.M. Lewis, "Surficial Sediments of Lake Erie", *J. Fish. Res. Board. Can.*, 33:385–403 (1976).
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), "Chemistry Laboratory Manual for Bottom Sediments and Elutriate Testing", EPA-905-4-79-014, U.S. Environmental Protection Agency/Corps of Engineers, Region V, Chicago, IL (1979).
- USEPA, "Guidance for Sampling of and Analyzing for Organic Contaminants in Sediments", Office of Water, Regulations, and Standards, Criteria and Standards Division, USEPA, Washington, DC, 49 p. (1987).

- USEPA, "Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal: Testing Manual", EPA-503/8-91/001, Office of Water (WH-556F), Vicksburg, MS (1991).
- USEPA, "Sediment Classification Methods Compendium, Chapter 2: Quality Assurance/Quality Control, Sampling, and Analytical Considerations", EPA 823-R-92-006, Office of Water, Vicksburg, MS (1992).
- USEPA, "Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-Associated Contaminants with Freshwater Invertebrates", Draft 2/4/94, Office of Science and Technology, Washington, D.C. 245+ p. (1994a; 1994b).
- van de Guchte, C. et J.L. Maas-Diepeveen, "Screening Sediments for Toxicity: A Water-concentration Related Problem", *Compte rendu des communications de 14^e atelier annuel sur la toxicité aquatique : du 1^{er} au 4 novembre 1987*, Toronto (Ontario), rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques n° 1607, p. 81–91 (1988).
- van der Loeff, R.M.M., "Time Variation in Interstitial Nutrient Concentrations at an Exposed Subtidal Station in the Dutch Wadden Sea", *Neth. J. Sea Res.*, 14:123–143 (1980).
- van Raaphorst, W. Et A.G. Brinkman, "The Calculation of Transport Coefficients of Phosphate and Calcium Fluxes Across the Sediment-water Interface, from Experiments with Undisturbed Sediment Cores", *Water Sci. Technol.*, 17:941–951 (1985).
- van Woerden, J.A., J.A. Hellema, et M. Tielman, "Hydrographic Echosounding Combined with Subbottom Profiling and Nuclear Density Measurements", *Hydrogr. J.*, 50:5–10 (1988).
- Viel, M., A. Barbanti, L. Langone, G. Buffoni, D. Paltrinieri, et G. Rosso, "Nutrient Profiles in the Pore Water of Deltaic Lagoon: Methodological Considerations and Evaluation of Benthic Fluxes", *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 33:361–382 (1991).
- Watson, P.G., P. Frickers et C. Goodchild, "Spatial and Seasonal Variations in the Chemistry of Sediment Interstitial Waters in the Tamar Estuary", *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 21:105–119 (1985).
- Whiticar, M.J., "Determination of Interstitial Gases and Fluids in Sediment Collected with an *in-situ* Sample", *Anal. Chem.*, 54:1796–1798 (1982).
- Windsor, J.G. et R.A. Hites, "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Gulf of Main Sediment and Nova Scotia Soils", *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 43:27–33 (1979).
- Word, J.Q., J.A. Ward, L.M. Franklin, V.I. Cullinan, et S.L. Kiesser, "Evaluation of the Equilibrium Partitioning Theory for Estimating the Toxicity of the Non-polar Organic Compound DDT to the Sediment Dwelling Amphipod *Rhepoxynius abronius*", Final report submitted by Battelle Washington Environmental Protection Agency, Criteria and Standards Division, 60 p., (1987).
- Wright, L.D., D.B. Prior, C.H. Hobbs, R.J. Byrne, J.D. Boon, L.C. Schaffner, et M.O. Green, "Spatial Variability of Bottom Types in the Lower Chesapeake Bay and Adjoining Estuaries and Inner

Shelf”, *Estuar. Coastal Shelf Sc.*,
24:765–784 (1987).

Yee, S., M. VanRikxoort, et D. McLeay,
“The Effect of Holding time on
Eohaustorius washingtonianus During

Ten-day Sediment Bioassays and Reference
Toxicant Tests”, préparé pour
Environnement Canada et le Groupe
intergouvernemental sur la toxicité
aquatique, Ottawa (Ontario), 44 p. (annexes)
(1992).

Membres du Groupe intergouvernemental sur la toxicité aquatique*

Gouvernement fédéral, (Environnement Canada)

P.G. Wells (Président)
Université Dalhousie
Halifax (N.-É.)

K.G. Doe
Région de l'Atlantique
Dartmouth (N.-É.)

W.R. Parker
Région de l'Atlantique
Dartmouth (N.-É.)

S.J. Wade
Région de l'Atlantique
Dartmouth (N.-É.)

J.D.A. Vaughan
Région de l'Atlantique
Dartmouth (N.-É.)

N. Bermingham
Centre Saint-Laurent
Longueuil (Québec)

C. Blaise
Centre Saint-Laurent
Longueuil (Québec)

G. Elliott
Protection de l'environnement
Edmonton (Alberta)

R.G. Watts
Région du Pacifique
North Vancouver (C.-B.)

S.E. Yee
Région du Pacifique
North Vancouver (C.-B.)

J. Miller
Direction générale du développement
technologique
Ottawa (Ont.)

D. Moul
Région du Pacifique
North Vancouver (C.-B.)

K.E. Day
Institut national de recherche sur les eaux
Burlington (Ont.)

B. Dutka
Institut national de recherche sur les eaux
Burlington (Ont.)

C. Boutin
Service canadien de la faune
Hull (Québec)

D. MacGregor
Direction générale du développement
technologique
Ottawa (Ont.)

R.P. Scroggins
Direction générale du développement
technologique
Ottawa (Ont.)

G.A. Sergy
Direction générale du développement
technologique
Edmonton (Alberta)

Gouvernement fédéral (Pêches et Océans)

R. Stevens
Direction de l'océanographie et des
contaminants
Ottawa (Ont.)

Gouvernement fédéral (Commission de contrôle de l'énergie atomique)

P. Thompson
Protection de l'environnement
Ottawa (Ont.)

Gouvernement fédéral (Ressources naturelles Canada)

D. Rodrigue
CANMET, Sciences minérales
Ottawa (Ont.)

Provinces

C. Bastien
Ministère de l'Environnement du Québec
Sainte-Foy (Québec)

S.G. Abernethy
Ministère de l'Environnement de
l'Ontario
Rexdale (Ont.)

C.M. Neville
Ministère de l'Environnement de
l'Ontario
Rexdale (Ont.)

D.G. Poirier
Ministère de l'Environnement de
l'Ontario
Rexdale (Ont.)

I.R. Smith
Ministère de l'Environnement de
l'Ontario
Rexdale (Ont.)

G.F. Westlake
Ministère de l'Environnement de
l'Ontario
Rexdale (Ont.)

B. Bayer
Ministère de l'Environnement, de la
Sécurité et de l'Hygiène du travail
du Manitoba
Winnipeg (Manitoba)

J. Somers
Ministère de l'Environnement de
l'Alberta
Edmonton (Alberta)

K. Smiley
Ministère de l'Environnement de
l'Alberta
Vegreville (Alberta)

S.H. Horvath
Ministère de l'Environnement de la
Colombie-Britannique
Vancouver (C.-B.)

G. van Aggelen
Ministère de l'Environnement de la
Colombie-Britannique
North Vancouver (C.-B.)

* En décembre 1994

Adresses de l'Administration centrale et des bureaux régionaux du Service de la protection de l'environnement

Administration centrale

351 boulevard Saint-Joseph
Place Vincent-Massey
Hull (Québec)
K1A 0H3

Région d'Atlantique*

15^e étage, Queen Square
45, promenade Alderney
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
B2Y 2N6

Région du Québec

105 rue McGill, 8^e étage
Montreal (Québec)
H2Y 2E7

Région de l'Ontario

4905 Dufferin Street, 2^e étage
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

Région de l'Ouest et du Nord

Twin Atria No. 2, pièce 210
4999-98^e avenue
Edmonton (Alberta)
T6B 2X3

Région du Pacifique et du Yukon

224, rue Esplanade
North Vancouver (C.-B.)
V7M 3H7

* On peut se procurer les programmes statistiques TOXSTAT et BOOTSTRP en envoyant une disquette formatée à la Division des laboratoires, à cette adresse.

Formules statistiques pour le calcul du nombre d'échantillons

Object	Formule	Source
Déterminer la taille d'échantillon requise pour déceler un effet dans une zone touchée, relativement à une zone de contrôle, dans le temps :		
a) échantillonner à nouveau les mêmes stations avant et après l'impact, puis vérifier si le changement moyen est le même dans la zone de contrôle que dans la zone touchée	$n = 2 (t_{\alpha} + t_{\beta})^2 (S/\Delta)^2$	Green, 1989
b) échantillonner différentes stations avant et après l'impact, puis vérifier qu'il n'y a pas d'interaction entre l'effet dans l'espace et l'effet dans le temps	$n = 4 (t_{\alpha} + t_{\beta})^2 (S/\Delta)^2$	Green, 1989
	où :	
	$n =$ le nombre d'échantillons pour chacune des zones (zone de contrôle et zone touchée)	
	$S =$ l'écart-type	
	$\Delta =$ l'importance requise du changement pour que ce dernier soit un effet réel, d'une puissance donnée (1- β)	
	$t_{\alpha} =$ la statistique t , étant donné une probabilité d'erreur du type I ¹	
	$t_{\beta} =$ la statistique t , étant donné une probabilité d'erreur du type II ²	
Déterminer si la valeur moyenne, pour une zone touchée :	$n \geq \frac{(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2}{d^2} + 0,5 Z_{\alpha}^2$	Allredge, 1987
	où :	
a) diffère de façon significative d'une valeur normalisée (p. ex., critère de qualité des sédiments)	$n =$ la taille de l'échantillon	
	$Z_{\alpha} =$ la statistique Z pour une probabilité d'erreur du type I (p. ex., $\alpha = 0.05$)	
	$Z_{\beta} =$ la statistique Z pour une probabilité d'erreur du type II (p. ex., $\beta = 0.90$)	
	$d =$ l'importance de la différence à déceler (c'est-à-dire, l'importance de l'effet)	

b) diffère significativement de la moyenne d'une station de contrôle

$$n \geq \frac{2 (Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2}{d^2} + 0,25 Z_{\alpha}^2$$

Allredge, 1987

où :

- n = la taille de l'échantillon
 Z_{α} = la statistique Z pour une probabilité d'erreur du type I (p. ex., $\alpha = 0,05$)
 Z_{β} = la statistique Z pour une probabilité d'erreur du type II (p. ex., $\beta = 0,90$)
 d = la différence à déceler
(c'est-à-dire, l'importance de l'effet)

Déterminer le nombre d'échantillons nécessaire pour estimer une valeur moyenne (représentative de la zone) avec une certitude statistique donnée

$$y \bar{x} = t_c \left[\frac{S_x}{(n-1)^{1/2}} \right]$$

Håkanson, 1984

où :

- y = l'erreur acceptée dans le pourcentage de la valeur moyenne (p. ex., $y = 10\%$)
 \bar{x} = la valeur moyenne de X_i ($i = 1 \dots n$)
 S_x = l'écart-type
 t_c = le seuil de confiance (p. ex., 90% où $t_{0,95}$)
 n = le nombre d'échantillons

Déterminer le nombre d'échantillons nécessaire pour estimer une moyenne

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2}{d^2}$$

Milton *et al.*, 1986

où :

- n = le nombre d'échantillons
 Z_{α} = la statistique Z (courbe normale standardisée)
 σ^2 = la variance
 $\alpha/2$ = la probabilité d'un seuil de confiance de 95 %
 d = la distance entre le centre de la limite inférieure et la limite supérieure de confiance

Déterminer le nombre d'échantillons requis pour une puissance donnée et une distribution normale (p. ex., $\bar{x} > S^2$)

$$n = \frac{10^4 (t^2 S^2)}{(R^2 \bar{x}^2)}$$

Kratochvil et Taylor, 1981

où :

- n = le nombre d'échantillons
 t = la statistique t pour un seuil de confiance recherché
 \bar{x} = la valeur moyenne d'un échantillonnage préliminaire ou de données historiques
 S = l'écart-type
 R^2 = le coefficient de variation en pourcentage
 K = l'indice d'agglutination

¹ L'erreur du type I (α) est la probabilité de rejeter l'hypothèse quand elle est vraie.

² L'erreur du type II (β) est la probabilité d'accepter l'hypothèse quand elle est fautive.

Les formules de la présente annexe s'appliquent à quatre situations :

1. L'estimation d'une moyenne (Kratochvil et Taylor, 1981; Håkanson, 1984; Milton *et al.*, 1986).
2. La comparaison d'une moyenne à une norme (Alldredge [a], 1987).
3. La comparaison de deux moyennes (Alldredge [b], 1987; Green [a], 1989).
4. L'interaction entre les effets dans l'espace et les effets dans le temps (Green [b], 1989).

Estimation de la moyenne. On utilise fréquemment la formule de Milton *et al.* (1986). Malheureusement, elle est reconnue pour sous-estimer considérablement le nombre d'échantillons nécessaire. La mesure de cette sous-estimation a été étudiée par Kupper et Hafner (1989), qui ont fourni un moyen de la corriger. Variantes de la même estimation fondamentale, les formules de Håkanson (1984) et de Kratochvil et Taylor (1981) ont tendance à sous-estimer de même le nombre d'échantillons. Toutefois, comme elle emploie la distribution de Student, il se peut que la sous-estimation à laquelle elle donne lieu ne soit pas aussi considérable, mais elles exigent une solution itérative. Dans la formule de Håkanson, y doit être exprimé comme une proportion (ou le côté droit multiplié par 100), tandis que le terme $n - 1$ de la formule aboutit à une estimation un peu plus généreuse que celle de la formule de Kratochvil et Taylor (1981).

Comparaison d'une moyenne à une norme. L'une des comparaisons les plus fréquentes est celle d'une valeur moyenne à

une norme, qui vérifie essentiellement l'hypothèse $H_0: \mu_o = \mu_A$ par rapport à l'hypothèse alternative $H_A: \mu_o < \mu_A$. Le degré de signification est généralement de α . L'écart décelable recherché est généralement défini par Δ , la probabilité β étant telle que la probabilité P (de rejeter H_0 quand $\mu_A - \mu_o > \Delta$) $\geq 1 - \beta$. (L'expression $1 - \beta$ représente la puissance du test). L'estimation de la taille de l'échantillon, n , qu'il faut pour satisfaire à ces conditions est donnée par la relation suivante :

$$n = \frac{Z_\alpha + Z_\beta}{\Delta^2} + 2$$

(n étant arrondi au nombre entier le plus près).

Si l'hypothèse est bilatérale (c'est-à-dire, $H_A: \mu_o \neq \mu_A$), Z_α est remplacé par $Z_{\alpha/2}$ dans la formule qui précède. La formule présentée par Alldredge (1987) possède comme terme la valeur $0,5 Z_\alpha^2$, qui corrige l'incertitude dans l'estimation de la variance. Cette somme est probablement un bon estimateur, peut être un peu généraux.

Comparaison de deux moyennes. Les formules *b*) et *a*), données par Alldredge (1987) et par Green (1989), sont en accord étroit; toutefois, comme la dernière de ces formules exige un processus d'itération, la formule d'Alldredge serait un peu plus indiquée.

Interaction entre les effets dans l'espace et dans le temps. On devrait recourir à cette formule lorsque l'objet du projet est d'examiner les écarts dans le temps entre la concentration d'un contaminant dans une station et sa concentration dans une station témoin. Cette méthode est itérative.

Prélèvement sur place de l'eau de porosité

Dans les eaux peu profondes (p.ex., <10 m), l'eau de porosité est prélevée par des plongeurs, directement dans les sédiments fins, à l'aide de seringues à longues aiguilles (Bauer *et al.*, 1988) ou d'un tube, sous pression hydrostatique ou par aspiration, après filtration (Brinkman *et al.*, 1982; Buddensiek *et al.*, 1990). À une profondeur donnée, on ne peut prélever chaque fois que des volumes relativement modestes (5–10 mL). Pour les sédiments estuariens en eau peu profonde (0,5 m), on a mis au point un échantillonneur permettant des prélèvements répétés d'eau de porosité en l'absence d'oxygène (Montgomery *et al.*, 1979 et 1981). Le volume des prélèvements, effectués sous vide et sous atmosphère inerte (un gaz inerte déplaçant périodiquement l'échantillon), se situe entre 50 et 75 mL. Un dispositif semblable a été conçu pour les cours d'eau et les lacs (Hertkorn-Obst *et al.*, 1982). Dans les eaux marines plus profondes (20–1800 m), on a mis au point, pour prélever l'eau de porosité simultanément à plusieurs profondeurs, un échantillonneur à tube d'acier inoxydable fonctionnant comme une seringue géante (Sayles et Manheim, 1975). Sa conception a été modifiée pour le prélèvement de l'eau de porosité dans des milieux infralittoraux peu profonds (van der Loeff, 1980). Howes *et al.* (1985) ont prélevé dans des marais peu profonds de l'eau de porosité à différentes profondeurs de sédiments, en modifiant le modèle de Montgomery *et al.* (1979), mais ils n'ont pu en prélever que de 5 à 10 mL à la fois.

Ces méthodes de prélèvement de l'eau de porosité reposent toutes sur l'aspiration ou le déplacement de l'eau par un gaz inerte, puis

la filtration. La plupart des autres méthodes reposent sur les principes de la diffusion. Les échantillonneurs fonctionnant par dialyse sont dotés de membranes qui diffèrent quant à leur composition et à la taille des pores, ce qui leur confère une certaine sélectivité à l'égard des solutés (p. ex., membranes de polysulfone ou de polycarbonate à ouvertures de 0,2 µm, membranes de PVC à ouvertures de 0,45 µm, Teflon® poreux à ouvertures de 3,0 µm) (Adams, 1991). Sensibles aux attaques microbiennes, les membranes de dialyse à base de cellulose sont à déconseiller (Martens et Klump, 1980). Il est souhaitable de dégazer les membranes de PVC avant de les employer dans les échantillonneurs-dialyseurs (Carignan *et al.*, 1994). L'échantillonneur-dialyseur est habituellement désoxygéné dans de l'eau distillée ou déminéralisée qui a été purgée à l'azote (Hesselin, 1976; Kelly *et al.*, 1984; Carignan et Tessier, 1985; Tessier *et al.*, 1989; Viel *et al.*, 1991), ou dans une solution de chlorure de sodium purgée à l'azote (Simon *et al.*, 1985). Le dégazage à l'azote dure généralement de 24 à 48 h, dans un récipient d'équilibrage. L'échantillonneur doit passer directement de l'enceinte d'équilibrage aux sédiments (avec le concours, habituellement, d'un plongeur); on le laisse revenir à l'équilibre pour une certaine période de temps (de 3 à 20 jours) avant d'en retirer l'eau de porosité prélevée (soit par une seringue, soit par des tubes collecteurs qui y sont fixés). Le temps d'équilibre doit être déterminé expérimentalement, au préalable, par l'échantillonnage et l'analyse journaliers d'eau de porosité (Carignan, 1984).

La contamination de l'eau de porosité par l'équipement d'échantillonnage, un équilibre incomplet entre l'eau de porosité des sédiments et l'eau du dialyseur, la rupture de la membrane, le développement d'un potentiel électrique au travers de la membrane (qui peut gêner la diffusion des ions) ou l'oxydation de l'eau de porosité pendant son transfert du dialyseur au récipient à échantillon peuvent entraîner des artefacts expérimentaux (Carignan *et al.*, 1985). On peut réduire au minimum ces phénomènes par les moyens suivants :

- a) n'utiliser que des matières chimiquement inertes et propres pour la construction du dialyseur (c'est-à-dire, pas de caoutchouc, de néoprène, de PVC, de polystyrène, de métaux ni de métaux galvanisés);
- b) construire avec soin les dialyseurs en utilisant des membranes de polycarbonate ou de Teflon® poreux qui sont intactes et ne fuient pas ou des membranes de polysulfone, biologiquement inertes;
- c) n'utiliser qu'un équilibreur purifié et purgé de son oxygène dans l'enceinte;
- d) s'assurer que le temps d'équilibre est adéquat;
- e) utiliser des seringues non métalliques pour l'extraction de l'eau de porosité;
- f) utiliser des récipients à échantillon ou des récipients d'entreposage préalablement traités, construits d'un matériau convenable (§ 2.8);
- g) transférer l'eau de porosité du dialyseur dans un récipient à échantillon sous atmosphère exempte d'oxygène (c'est-à-dire, dans une boîte à gants dont l'atmosphère est constituée d'argon ou d'azote).

Viel *et al.*, (1991) ont comparé les concentrations de fer et des éléments nutritifs ammoniac, phosphate et silice (NH_3 , PO_4 , SiO_2) dans de l'eau de porosité extraite par centrifugation à 5000 tr/min pendant 20 min et dans de l'eau de porosité prélevée sur place par dialyse. Ils ont constaté que les concentrations de PO_4 et de Si étaient comparables dans les deux types d'eau mais que les concentrations de fer et d'ammoniac différaient, probablement à cause de la manipulation des carottes pendant le transfert des échantillons dans les tubes à centrifuger ou encore de l'hétérogénéité spatial des sédiments.

Knezovich et Harrison (1987) ont comparé les concentrations de chlorobenzène dans de l'eau de porosité prélevée sur place dans les couches de surface des sédiments (p. ex., jusqu'à 8 mm) au moyen d'une seringue modifiée et dans de l'eau de porosité extraite par des méthodes de compression et de centrifugation. Le prélèvement sur place a beaucoup réduit la perte de ce composé volatil.

Les dialyseurs ont l'avantage de prélever une eau de porosité exempte d'artefacts dus à la température, à la pression et à l'oxydation. Ils exigent cependant un temps d'équilibre relativement long. Les échantillonneurs par aspiration prélèvent des échantillons qui sont également exempts des mêmes artefacts, mais ils prennent plus de temps à utiliser, ils sont plus coûteux à construire et leur résolution en profondeur est limitée. Comme les deux méthodes de prélèvement sur place de l'eau de porosité (par aspiration et par dialyse) n'ont été comparées de façon directe que depuis peu, nous ne pouvons pas recommander l'une plus que l'autre.

Les concentrations des contaminants dans l'eau de porosité peuvent être mieux corrélées à la toxicité chez les organismes

aquatiques (Cairns *et al.*, 1984; Nebeker *et al.*, 1984; Schuytema *et al.*, 1984; Knezovich et Harrison, 1988; Giesy and Hoke, 1990) que leurs concentrations dans les sédiments entiers (Patrick *et al.*, 1977; Adams *et al.*, 1985; Shaner et Knight, 1985; van de Guchte et Mass-Diepeveen, 1988; Di Toro, 1989; Ankley *et al.*, 1991c; Carr et Chapman,

1992). L'importance relative de l'eau de porosité et des sédiments entiers comme sources de substances toxiques pour les organismes aquatiques semble dépendre de l'espèce des animaux d'expérience et du type de contaminant (Knezovich *et al.*, 1987; Giesy et Hoke, 1990; Harkey *et al.*, 1994).

Transport et entreposage des prélèvements

Récipients à échantillon

Toutes matière entrant en contact avec un échantillon prélevé sur le terrain est susceptible de le contaminer ou d'en adsorber des constituants. Au moyen des matériaux adéquats, on peut réduire au minimum ces phénomènes nuisibles ou les atténuer. Par exemple, le chlorure de polyvinyle (PVC), qui renferme de fortes concentrations de zinc, de fer, d'antimoine et de cuivre, ne devrait pas être utilisé pour entreposer des sédiments si l'on veut éviter la contamination de ces derniers par des métaux. Le nylon renferme beaucoup de cobalt lixiviable. Le verre sodocalcique, le verre flint et les matériaux métalliques, y compris l'acier inoxydable peuvent contaminer les échantillons par des éléments métalliques (p. ex., chrome, fer, nickel, molybdène). Le Plexiglas adsorbe facilement les éléments ou composés organiques, tandis que le caoutchouc et le néoprène pourraient contaminer les échantillons avec des composés organiques. Les substances qui ne devraient pas entrer directement en contact avec les prélèvements comprennent le PVC, le caoutchouc, le nylon, la poudre de talc, le polystyrène, les métaux galvanisés, les raccords de laiton, les matériaux métalliques, le verre sodocalcique, le papier et les surfaces peintes.

Le polytétrafluoréthylène (PTFE) ou Teflon®, le verre borosilicaté et l'acier inoxydable sont considérés comme relativement inertes pour ce qui concerne l'adsorption et la désorption de substances chimiques (Moody et Lindstrom, 1977; Bryden et Smith, 1989). Toutefois, il est établi que le Teflon® libère des impuretés organiques (Giam et Wong, 1972; Lonneman *et al.*,

1981) et absorbe d'autres composés (Blau et King, 1977). Le verre borosilicaté peut libérer et adsorber des sels inorganiques (notamment de sodium, de fluor et de bore) et il est relativement fragile. Les polyéthylènes haute densité adsorbent et libèrent peu de composés organiques (relativement aux autres matériaux); ils sont légers, résistent aux contraintes physiques et sont relativement peu coûteux. Le Teflon® ne contamine pas les échantillons d'eau ou de sédiment, mais il doit être manipulé avec soin. On ne devrait pas utiliser de récipients d'acier inoxydable pour entreposer des sédiments dont on veut doser les contaminants inorganiques. Les récipients recommandés pour les échantillons de sédiments entiers devraient donc être faits de Teflon® ou être garnis de cette matière. Toutefois, des récipients de verre borosilicaté et de polyéthylène haute densité sont acceptables s'ils ont subi au préalable un traitement adéquat et si les échantillons y sont conservés pour 14 jours au maximum. L'acier inoxydable et le verre conviennent aux sédiments dont on veut doser les contaminants organiques.

Récipients et conditions d'entreposage

Si les échantillons sont également traités sur place (p. ex., sous-échantillonnés, sectionnés, filtrés, homogénéisés ou tamisés), il faut choisir le type adéquat de contenant pour les entreposer. Les sédiments que l'on veut soumettre à des essais de toxicité ne doivent pas être entreposés à l'état sec, congelé ou lyophilisé (Malueg *et al.*, 1986; Swartz *et al.*, 1985; Anderson *et al.*, 1987; ASTM, 1992a). Ils devraient être gardés au froid ($4 \pm 2^\circ \text{C}$) et à l'obscurité, dans des

réceptacles hermétiques et sans agent de conservation, afin de réduire au minimum les modifications physicochimiques et biologiques inévitables avec le temps. Les sédiments destinés uniquement à des analyses chimiques peuvent être entreposés à $4 \pm 2^\circ \text{C}$, avec ou sans réactifs (p. ex., agents de conservation), ou à -20°C . Des sédiments surgelés ont été entreposés en cet état jusqu'au moment de l'analyse (Malueg *et al.*, 1986; Cairns *et al.*, 1984; Jenne et Zachara, 1987; Muir *et al.*, 1982 et 1985; Rapin *et al.*, 1986; Rochon et Chevalier, 1987); toutefois, la congélation et la surgélation des sédiments entiers sont déconseillées parce qu'elles altèrent la structure des sédiments, en transforment le profil et ne permettent pas d'en préserver l'intégrité chimique (Swartz *et al.*, 1985; Chapman, 1988; Lamberson et Swartz, 1988). Les échantillons de sédiments contaminés par des matières organiques volatiles sont couramment gardés à -20°C afin de réduire au minimum les pertes durant l'entreposage. La congélation des échantillons de sédiment est une pratique courante dans les études de surveillance et de reconnaissance; toutefois, on devrait en distinguer les effets sur les propriétés physicochimiques des sédiments. On devrait éviter le séchage des sédiments (p. ex., la lyophilisation et le séchage au four) durant l'entreposage (Rapin *et al.*, 1986).

Durée d'entreposage

La durée d'entreposage d'un échantillon de sédiment au froid (p. ex., 4°C) dépend de la nature du sédiment, de son degré de contamination et des types de contaminants. Des études ont révélé des modifications considérables de la toxicité après des durées d'entreposage allant de moins de sept jours jusqu'à 12 mois (DeWitt *et al.*, 1989; Brouwer *et al.*, 1990; Stemmer *et al.*, 1990b; ASTM, 1992a; Othoudt *et al.*, 1991; Landrum *et al.*, 1992). Carr et Chapman (1995) ont

comparé, à intervalles d'environ une semaine sur une durée de 29 jours, les valeurs de la toxicité d'une eau de porosité entreposée à 4°C chez l'oursin de mer *Arbacia punctulata*. Ils ont observé des changements importants à court terme (p. ex., d'un jour ou d'une semaine à l'autre), mais l'ampleur et la nature de ces changements (à la hausse ou à la baisse) étaient imprévisibles. Tout un faisceau de preuves porte donc à préconiser une durée d'entreposage minimale (ASTM, 1992a; Othoudt *et al.*, 1991). Les essais de toxicité devraient avoir lieu le plus tôt possible après le prélèvement des sédiments, de préférence dans les six semaines (Chapman, 1988). Une durée d'entreposage maximale admissible de six semaines a été prévue dans les méthodes d'essais de toxicité d'Environnement Canada (1992 c, d, et e) afin de prendre en considération les aspects logistiques, y compris le temps exigé par des analyses chimiques initiales. Toutefois, il est recommandé d'effectuer les essais de toxicité dans les deux semaines suivant le prélèvement et, de façon idéale, dans la semaine qui le suit (c'est-à-dire, le plus tôt, le mieux). Dans les études de surveillance et d'évaluation, on peut garder les sédiments plus longtemps (jusqu'à six semaines) si l'on peut montrer que leur toxicité ou leurs caractéristiques chimiques ne varient pas ou n'ont pas varié entre-temps (Othoudt *et al.*, 1991).

Les échantillons d'eau de porosité sont particulièrement sensibles à la dégradation chimique survenant au cours de l'entreposage. On a observé en 24 h des modifications considérables dans des échantillons gardés à 4°C (Hurlbert et Brindle, 1975; Watson *et al.*, 1985; Kemble *et al.*, 1993). On peut prolonger l'entreposage si l'on prépare les échantillons en vue de l'analyse dès le prélèvement, par exemple en les stérilisant par filtration ou en

employant des agents de conservation. Toutefois, il faut reconnaître que la filtration pourrait réduire la toxicité. Selon certaines études, la congélation de l'eau de porosité préparée n'a pas influé sur sa toxicité (Hardy *et al.*, 1987; Carr *et al.*, 1989), tandis que, selon des études effectuées avec des eaux résiduelles, la congélation et le dégel peuvent influencer de façon marquée sur la toxicité. Les essais de toxicité portant sur l'eau de porosité devraient donc suivre immédiatement le prélèvement.

Le fait congeler et de décongeler des échantillons d'eau de porosité extraits par compression n'a pas eu d'effet significatif sur la toxicité de cette eau chez l'oursin de mer *Arbacia punctulata* (Carr et Chapman, 1995). Par

ailleurs, on a congelé de l'eau de porosité extraite d'un sédiment par centrifugation ou par aspiration (p. ex., par une pompe à vide), sans élimination additionnelle des particules en suspension par centrifugation; on a alors observé, chez le même organisme d'expérience, une toxicité plus élevée que celle de l'eau non congelée (Carr et Chapman, 1995). Quelle que soit la méthode employée pour extraire l'eau de porosité, il est donc recommandé, avant de procéder aux essais ou à la congélation, de centrifuger l'échantillon d'eau de porosité afin de réduire les effets des particules en suspension sur la capacité du sperme de trouver ou de fertiliser les oeufs utilisés dans cet essai en particulier.

Extraction de l'eau de porosité des échantillons de sédiment

L'extraction sous pression de l'eau de porosité des sédiments peut se faire sous forte ou faible pression mécanique ou sous faible pression pneumatique. Les dispositifs à cette fin comportent généralement une série de mécanismes de serrage, de filtres et de membranes ainsi que des moyens de collecte de l'eau de porosité. Les matériaux varient et peuvent comprendre le Teflon®, l'acier inoxydable, le laiton et le nylon. La description complète d'un grand nombre de ces filtres-presses, y compris les matériaux entrant dans la fabrication de leurs pièces, la pression utilisée ainsi que le volume d'échantillon traité et d'eau de porosité obtenu, est donnée dans Adams (1991).

Les facteurs qui pourraient influencer sur la composition de l'eau de porosité extraite par filtration sous pression comprennent la contamination imputable aux matériaux utilisés, les conditions de filtration et le partage des substances présentes dans l'échantillon. Les matériaux du filtre-presse peuvent influencer sur les caractéristiques chimiques de l'eau de porosité. L'acier inoxydable convient à l'eau destinée à l'analyse des anions, des métaux alcalins et des métaux alcalinoterreux, mais non à celle du fer et des autres éléments de transition, qui sont susceptibles d'être contaminés par l'acier inoxydables (Adams, 1991).

Manheim (1976) a constaté que la pression mécanique de serrage influait peu sur la composition de l'extrait d'eau de porosité. Un problème susceptible de survenir au cours de l'opération est la formation, au bas du filtre-presse, d'un gâteau imperméable qui empêche le passage de l'eau de porosité. L'augmentation graduelle de la pression au

cours d'une période de 30 min peut réduire ce problème au minimum (Reeburgh, 1967). Nath *et al.* (1988) ont modifié le filtre-presse de Manheim pour ramener à moins de 20 min le temps de filtration nécessaire pour extraire 20 mL d'eau de porosité, qui était de 60 à 90 min. Le nouveau filtre-presse comprend une gaine de Teflon® qui empêche l'exposition du sédiment à l'atmosphère, ce qui limite son oxydation. Jahnke (1988) a également mis au point un filtre-presse de carotte entière, simple, fiable et peu coûteux, qui permet de recueillir l'eau de porosité dans des seringues étanches reliées au tube de la carotte de façon à réduire au minimum les effets de l'oxydation.

Klinkhammer (1980) a observé de fortes concentrations de métaux traces, notamment de fer, dans l'eau de porosité et il a laissé entendre que les particules de taille colloïdale, riches en fer n'étaient pas retenues par les filtres-presses. Hines *et al.*, (1989) ont constaté que les concentrations de sulfures étaient inférieures dans les échantillons comprimés, relativement aux échantillons d'eau de porosité extraite sur place. Le phénomène s'observait même si on maintenait rigoureusement durant l'opération une atmosphère déficitaire en oxygène. Malcolm *et al.* (1990) ont constaté que la concentration de Pu réduit (nucléide transuranien) augmentait après exposition à l'air; ils ont recommandé que l'échantillonnage et l'extraction de l'eau interstitielle du sédiment privé d'oxygène aient lieu dans une boîte à gants afin de réduire au minimum les variations de composition.

Le fractionnement chimique d'un échantillon d'eau de porosité peut également survenir au cours de la filtration sous pression. On a signalé des concentrations significativement supérieures d'ammonium dans l'eau de porosité des trois premières aliquotes extraites (Emerson *et al.*, 1980). Froelich *et al.* (1979) ont comparé deux types de filtres-presses et constaté que, quand ces derniers avaient été lavés à l'acide et servaient à traiter des sédiments riches en carbonate de calcium (CaCO_3), la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans la première aliquote obtenue était supérieure à celle observée dans les autres aliquotes.

Il est reconnu que certains constituants de l'eau de porosité sont altérés par la méthode d'extraction. Le carbone organique dissous et le diméthylsulfure en sont des exemples, tandis que l'ammoniac et les sulfures (à la condition qu'on empêche l'oxydation) subissent des effets équivoques (Burton, 1992). Bender *et al.* (1987) ont conclu que la composition de l'eau de porosité extraite par filtration sous pression de toute une carotte était très sujette à une altération rapide à la faveur de réactions entre solides et solution et que la méthode ne convenait pas à la détermination des profils des métaux traces et des autres substances chimiques réagissant avec les particules.

La **centrifugation** a été comparée à la dialyse sur place et elle s'est révélée donner des résultats semblables. Le mode opératoire général de la centrifugation d'un échantillon de carotte de sédiment est le suivant : on découpe un horizon dans la carotte ou on le sépare par extrusion en milieu exempt d'oxygène (p. ex., boîte à gants, sac scellé à gants, etc.). Le sédiment est déposé dans des tubes à centrifuger en polycarbonate lavés à l'acide. Bouchés hermétiquement, ceux-ci sont centrifugés à haute vitesse, sous

réfrigération. Le surnageant est siphonné (dans le milieu exempt d'oxygène) et il n'est filtré que si c'est nécessaire (c'est-à-dire, si c'est requis dans la méthode d'essai). Le surnageant ou le filtrat est ensuite gardé dans une fiole de polystyrène préalablement acidifiée au chlorure d'hydrogène (HCl) ou à l'acide nitrique (HNO_3).

Les variables du procédé de centrifugation sont la vitesse de centrifugation et la composition ainsi que la taille des ouvertures du filtre utilisé. Adams *et al.* (1980) ont examiné l'effet de la vitesse de centrifugation (7000 to 19 000 tr/min) sur la composition de l'eau de porosité. Ils ont observé peu de variations des concentrations de calcium (Ca), de fer (Fe), de manganèse (Mn) et de zinc (Zn), mais les concentrations de PO_4 ont doublé. Un autre motif de préoccupation est que la vitesse de centrifugation peut ne pas être suffisamment élevée pour supprimer les argiles dispersibles. Les métaux traces se concentrent sur les matières solides, et cela pourrait avoir un effet important sur les résultats des études de sorption. (Jenne et Zachara, 1987).

Des processus tels que l'adsorption de substances toxiques présentes dans l'eau de porosité sur les filtres et la désorption de telles substances à partir des filtres exigent qu'on soumette les filtres à un traitement préalable et à des essais à blanc pour évaluer l'éventuelle importance de ces processus (Levi et Novicki, 1972; Novicki *et al.*, 1979). La filtration sur fibre de verre ou sur plastique s'est révélée supprimer les substances organiques non polaires. Certains contaminants hydrophobes dissous pourraient être adsorbés par les filtres de fibre de verre (Word *et al.*, 1987). D'autres auteurs recommandent les filtres de polycarbonate (Knezovich and Harrison,

1987). Carr et Chapman (1995) ont comparé la toxicité d'échantillons d'eau de porosité extraits de sous-échantillons de sédiments au moyen d'un extracteur en Teflon® et par centrifugation. Les essais ont porté sur cinq types de filtres (fluorocarbure, nylon, polyester, polycarbonate et fibre de verre). Ils ont permis d'établir qu'un traitement préalable consistant à laisser tremper les filtres dans de l'eau désionisée pendant 24 h n'éliminait pas adéquatement les composés toxiques ayant des affinités pour les filtres en nylon et que les filtres en fibre de verre ne pouvaient supporter ce traitement. On a surmonté le problème des filtres en nylon en prolongeant jusqu'à 48 h la durée du trempage. Différents types de filtres utilisés dans les filtre-presses ont adsorbé des contaminants solubles, à divers degrés. Selon des études récentes, la filtration de l'eau de porosité réduira considérablement sa toxicité, quelle que soit la méthode d'extraction utilisée (p. ex., centrifugation, filtration sous pression, seringues ou dialyse) (Ankley *et al.*, 1991b). Saager *et al.* (1990) ont utilisé un tube à centrifugation spécialement conçu pour l'extraction de l'eau de porosité.

Carignan *et al.* (1985) ont comparé de l'eau de porosité extraite de prélèvements par centrifugation et filtration à de l'eau de porosité prélevée directement dans les sédiments par dialyse. La centrifugation, réalisée à deux vitesses (5000 et 11 000 tr/min), a été suivie d'une filtration sur des membranes à pores de 0,45, 0,2 et 0,03 µm. On a ensuite mesuré et comparé les concentrations de calcium (Ca), de magnésium (Mg), de fer (Fe), de manganèse (Mn), de chrome (Cr), de cobalt (Co), de nickel (Ni), de cuivre (Cu), de zinc (Zn), de cadmium (Cd), et de carbone organique. La centrifugation à 5000 tr/min puis la filtration sur une membrane prélavée à ouvertures de 0,45 µm ont entraîné la présence dans l'eau

de porosité de concentrations de Co, Ni, Cr, Fe et Mn comparables à celles mesurées dans l'eau de porosité obtenue par dialyse. Toutefois, les concentrations de Cu, de Zn et de carbone organique étaient considérablement plus élevées dans l'eau de porosité obtenue par centrifugation. La centrifugation à 11 000 tr/min et la filtration du surnageant sur des membranes de 0,2 ou de 0,03 µm ont donné des concentrations aqueuses de Cd, Co, Cr, Ni, et de carbone organique équivalentes à celles que l'on a observées dans l'eau de porosité obtenue par dialyse. Il semblerait que la centrifugation se compare bien à la dialyse sur place, du moins pour ce qui concerne les éléments examinés dans cette étude.

On a évalué les effets de cinq méthodes d'extraction de l'eau de porosité sur la toxicité de sédiments qui étaient fortement contaminés par des métaux, des huiles et graisses, des HAP et de l'azote nitrique (Ankley *et al.*, 1991b). Les méthodes d'extraction comprenaient la centrifugation à faible et à haute vitesse (p. ex., 2500 g et 10 000 g, respectivement) à 4° C, l'extraction sous pression, l'extraction à la seringue et la dialyse. Les échantillons d'eau de porosité ont été prélevés avec et sans filtration. Les résultats comparatifs montrent que la vitesse de centrifugation a peu influé sur la toxicité des sédiments. Ils indiquent toutefois que la vitesse maximale convenait davantage parce qu'elle permettait de n'isoler que la fraction de métaux bioassimilables, tandis que la vitesse inférieure aboutissait à la présence de métaux non assimilables dans l'eau de porosité. La centrifugation a généralement donné une eau de porosité au moins aussi toxique que les eaux extraites par d'autres méthodes. La filtration a abaissé la toxicité de l'eau de porosité de 40 à 85% (Ankley *et al.*, 1991b).

Carr et Chapman (1995) ont évalué les effets de trois méthodes d'extraction de l'eau de porosité (centrifugation, aspiration et compression) sur la toxicité de sédiments contaminés. Voici leurs conclusions : la toxicité des échantillons d'eau de porosité est largement influencée par la méthode d'extraction; pour accroître au maximum la sensibilité de l'essai de fertilisation, on devrait utiliser la centrifugation lorsque les principaux contaminants d'intérêt sont des composés organiques fortement hydrophobes; quelle que soit la méthode employée pour l'extraction initiale, on devrait (re)centrifuger l'échantillon avant de le congeler ou de le soumettre à des essais, afin d'éliminer les particules en suspension qui compromettent les résultats des essais.

Le fractionnement des substances chimiques présentes dans l'échantillon d'eau de porosité centrifugée est également un motif de préoccupation. Edmunds et Bath (1976) ont étudié le fractionnement éventuel de cinq cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Mg^{2+}) durant la centrifugation de l'eau de porosité d'une roche du Crétacé. Les cations ont été dosés quatre fois au cours de l'extraction. Les concentrations de sodium et de potassium ont progressivement diminué pendant l'extraction de la plus grande partie de l'eau de porosité, pour se stabiliser au cours de l'extraction des derniers 10 à 20% de l'échantillon. La concentration de Ca^{2+} a diminué jusqu'à la fin de l'extraction et l'on n'a observé aucun fractionnement apparent de Sr^{2+} ou de Mg^{2+} .

Parmi les **autres méthodes** d'extraction de l'eau de porosité des échantillons de sédiments, incluons les méthodes de dessiccation (Adams, 1991), la filtration sous vide (Glass et Poldoski, 1975) et les techniques de déplacement (Adams, 1991), selon lesquelles un liquide non miscible remplace l'eau de porosité; l'extraction se fait dans un filtre-pressé après que l'on a versé le liquide sur le sédiment (Adams, 1991). Une autre méthode est la filtration sous vide dans un entonnoir de Buchner (Glass et Poldoski, 1975). C'est un processus fastidieux, notamment si l'on traite des sédiments fins; l'évaporation de l'eau de porosité devient alors un problème important (Adams, 1991). Les points faibles éventuels de cette technique sont la solubilisation des matières solides et les variations de l'équilibre entre les sédiments et l'eau.

van Raaphorst et Brinkman (1985) ont utilisé des tubes de polyéthylène refermant des brins de coton pour extraire l'eau de porosité d'une carotte de sédiments. Sous vide, on a prélevé 5 mL d'eau de porosité en deux ou trois jours. Les phosphates présents dans l'eau de porosité n'ont pas réagi avec le coton. Ce mode opératoire ne conviendrait pas aux échantillons dont on veut doser les contaminants organiques.

Nombre d'échantillons de sédiment à prélever* pour des projets de dragage (ou des strates) de différentes tailles

Volume à draguer (m ³)		Nombres d'échantillons
Plus de	Sans excéder	
0	10 000	6
10 000	17 000	7
17 000	23 000	8
23 000	30 000	9
30 000	37 000	10
37 000	43 000	11
43 000	50 000	12
50 000	58 000	13
58 000	67 000	14
67 000	75 000	15
75 000	83 000	16
83 000	92 000	17
92 000	100 000	18
100 000	141 000	19
141 000	182 000	20
182 000	223 000	21
223 000	264 000	22
264 000	305 000	23
305 000	346 000	24
346 000	386 000	25
386 000	427 000	26
427 000	468 000	27
468 000	509 000	28
509 000	591 000	29
591 000	632 000	30
632 000	673 000	31
673 000	714 000	32
714 000	755 000	33
755 000	795 000	34
795 000	836 000	35
836 000	877 000	36
877 000	918 000	37
918 000	959 000	38
959 000	1 000 000	39

Pour les projets où l'on prévoit de draguer plus de 1 000 000 m³, arrondir le résultat de la formule suivante :
 $40 + (\text{volume à draguer} - 1\,000\,000) / 75\,000$ échantillons

Source : Atkinson, 1994

* Le nombre de stations d'échantillonnage égale le nombre d'échantillons prélevés parce qu'un échantillon est prélevé dans chaque station. Si plus d'un échantillon est prélevé dans une station, les autres échantillons devraient être considérés comme supplémentaires.

Formulaire de renseignements : Données exigées sur les prélèvements d'organismes; Données exigées sur les prélèvements de sédiments; Attestation de la chaîne de possession; Demande de permis (immersion en mer)

FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS—DONNÉES EXIGÉES SUR LES PRÉLÈVEMENTS D'ORGANISMES

(Remplir un formulaire par station d'échantillonnage)

DATE

ESPÈCES

IDENTIFICATION ET EMPLACEMENT DE LA STATION D'ÉCHANTILLONNAGE

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

DESCRIPTION DE LA STATION (Veuillez inclure des photographies de la région [points de repère] ou une carte détaillée, et indiquer les sources d'eau douce et les sources ponctuelles de pollution)

Roche, sable, limon, argile

Zone intertidale/infratidale (profondeur approximative)

Milieu à haute énergie/à faible énergie

QUALITÉ DE L'EAU DE MER (Qualité de l'eau de mer à laquelle les organismes étaient exposés à la station d'échantillonnage)

Température (° C)

Salinité (‰)

pH

Oxygène

CLASSEMENT DE LA STATION/FACILITÉ DU PRÉLÈVEMENT (Est-ce une station de qualité, où on aimera revenir? Les organismes y sont-ils abondants [densité]? Est-il facile d'accéder à la station et d'y effectuer les prélèvements? La présence d'autres organismes benthiques est-elle susceptible de faire problème? etc.)

**FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS—DONNÉES EXIGÉES SUR LES
PRÉLÈVEMENTS D'ORGANISMES (suite)**

NOMBRE APPROXIMATIF DE PELLES À MAINS, DE PELLES ORDINAIRES, DE
BENNES OU DE CAROTTES NÉCESSAIRES [Volume : _____]

NOMBRE APPROXIMATIF D'ORGANISMES PRÉLEVÉS DANS LA STATION

NOMBRE D'HEURES CONSACRÉES À LA COLLECTE DES ORGANISMES
(Cette donnée donnera une idée de la densité)

ASPECT ET COMPORTEMENT DES ORGANISMES (Prendre une photo ou décrire la
couleur, la forme et la taille approximative des organismes [p. ex., amphipodes], tout élément les
caractérisant et leur comportement lorsqu'ils sont retenus par le tamis [p. ex. flottent, nagent, se
roulent en boule] et remis en contact avec le sédiment [p. ex., fouissent ou restent à la surface]).

**FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS—DONNÉES EXIGÉES SUR LES
PRÉLÈVEMENTS D'ORGANISMES (suite)**

MARCHE À SUIVRE GÉNÉRALE

ÉQUIPEMENT UTILISÉ

Bateau [dans l'affirmative, décrire également l'échantillonneur (à benne, carottier, etc.)]

Matériel d'échantillonnage (types de récipients pour conserver les organismes, spatules ou pelles, tamis, etc.)

Autre équipement utile

MODE OPÉRATOIRE POUR L'ÉCHANTILLONNAGE (Veillez décrire les méthodes d'échantillonnage et toute précaution prise pour l'assurance et le contrôle de la qualité)

ÉTIQUETAGE, ENTREPOSAGE ET EXPÉDITION (Prière de préciser le temps écoulé et les conditions entre le prélèvement et l'expédition; indiquer si la température et la teneur en oxygène dissous ont été ajustée au cours de la manutention et de l'expédition)

NOMS DE TOUS LES MEMBRES DU PERSONNEL DE TERRAIN

Signature

Date

**FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS—DONNÉES EXIGÉES SUR LES
PRÉLÈVEMENTS DE SÉDIMENTS**

(Remplir un formulaire par station d'échantillonnage)

DATE ET HEURE

IDENTIFICATION ET EMPLACEMENT DE LA STATION D'ÉCHANTILLONNAGE

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

DESCRIPTION DE LA STATION (y compris les points de repère, les conditions météorologiques, les vents et les courants dominants, la position dans la zone intertidale si la station ne se trouve pas dans l'étage infralittoral, la profondeur de l'eau, etc.)

ESTIMATION DU VOLUME ET DE LA MASSE DE L'ÉCHANTILLON

NOMBRE DE PRISES PAR BENNE OU DE CAROTTAGES REQUIS POUR PRÉLEVER L'ÉCHANTILLON

ESTIMATION DE LA DÉRIVE POSSIBLE ENTRE LES PRÉLÈVEMENTS (Pour donner une idée de la superficie que cela représente, veuillez prendre en considération la profondeur, la longueur du câble d'ancrage, les vents et les courants)

DÉCRIRE L'ASPECT DE CHAQUE PRÉLÈVEMENT (Pour estimer l'homogénéité initiale de la station; inclure une description de la couleur, de l'odeur et de la granulométrie de l'échantillon, noter tout signe de vie dans le sédiment et noter si l'échantillon a été photographié).

**FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS—DONNÉES EXIGÉES SUR LES
PRÉLÈVEMENTS D'ORGANISMES (suite)**

MARCHE À SUIVRE GÉNÉRALE

ÉQUIPEMENT UTILISÉ

Échantillonneur (p. ex., Ponar, carottier à boîte, etc.)

Type, contenance et nombre des récipients à échantillon

Autres appareils entrant en contact avec l'échantillon

Type de bateau et nombre d'ancres, s'il y a lieu

Autre équipement utile (p. ex., treuil, échosondeur)

MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

(Veuillez décrire les méthodes d'échantillonnage utilisées, y compris la profondeur de pénétration dans les sédiments et toute précaution prise pour l'assurance et le contrôle de la qualité)

ÉTIQUETAGE, ENTREPOSAGE ET EXPÉDITION DES ÉCHANTILLONS

(Veuillez décrire les opérations d'étiquetage, d'entreposage et d'expédition ainsi que les conditions dans lesquelles elles ont eu lieu)

Signature _____

Date _____

ATTESTATION DE LA CHAÎNE DE POSSESSION
Loi canadienne sur la protection de l'environnement

Nom de la personne qui a prélevé l'échantillon : Signature :

Nom de l'inspecteur ou des inspecteurs : Numéro(s) d'identification :

Numéro(s) de l'échantillon ou des échantillons :

Date du prélèvement : _____ Heure du prélèvement : _____

Lieu de prélèvement : _____

Analyse exigée : _____

Chaîne de possession

Remis par : _____ Date : _____
À : _____ Heure : _____

Remis par : _____ Date : _____
À : _____ Heure : _____

Remis par : _____ Date : _____
À : _____ Heure : _____

Remis par : _____ Date : _____
À : _____ Heure : _____

Identification de la demande
(À L'USAGE DU BUREAU)

Nom :

Numéro :

Environnement
Canada
Conservation et
Protection

Environment
Canada
Conservation and
Protection

**DEMANDE DE PERMIS
(IMMERSION EN MER)***

Les permis sont délivrés en vertu de la partie VI de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Le terme "immersion" est défini à l'article 66 de cette loi.

Les renseignements fournis dans la présente demande serviront à évaluer la demande de permis. Les activités suivantes sont visées par la demande (indiquez les activités qui vous concernent) : 1. Chargement pour immersion 2. Immersion d'une substance 3. Rejet sur les glaces 4. Abandon d'un navire, d'un aéronef, d'une plate-forme ou de tout autre ouvrage 5. Rejet par incinération ou emploi d'autres moyens de dégradation thermique.

SUBSTANCE À IMMERGER

PARTIE A - IDENTIFICATION

--

RENSEIGNEMENTS SUR LE DEMANDEUR

1. NOM DU DEMANDEUR		2. N° DE TÉLÉPHONE	3. N° DE TÉLÉCOPIEUR
4. ADRESSE		5. TYPE D'ENTREPRISE	
6. PERMIS ANTÉRIEURS - Inscrivez, le cas échéant, les numéros de permis pertinents à la présente demande, dont vous avez été titulaire.		N° de permis	Date d'expiration (année/mois)
7. NOM DES PERSONNES RESPONSABLES DE L'ACTIVITÉ PROPOSÉE		8. N° DE TÉLÉPHONE	9. N° DE TÉLÉCOPIEUR
10. NOM DES PERSONNES-RESSOURCES EN MATIÈRE TECHNIQUE POUR L'ACTIVITÉ PROPOSÉE		11. N° DE TÉLÉPHONE	12. N° DE TÉLÉCOPIEUR

PARTIE B - RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

13. DESCRIPTION DE L'ACTIVITÉ - Décrivez de façon générale l'activité proposée et indiquez-en le but.

* This form is also available in English.

14. SUBSTANCE À IMMERGER - Indiquez la substance à immerger. De plus, donnez les renseignements applicables prévus à la partie I ou II de l'annexe I.

15. QUANTITÉ TOTALE (en m³ ou t)

16. DURÉE PROPOSÉE DE VALIDITÉ DU PERMIS (un an au maximum)

du

année	mois	jour

au

année	mois	jour

17. LIEUX DE CHARGEMENT

NOM ET ADRESSE DU LIEU	LATITUDE	LONGITUDE	QUANTITÉ À CHARGER (en m ³ ou t)
------------------------	----------	-----------	--

18. LIEUX D'IMMERSON

NOM DU LIEU D'IMMERSION (s'il y a lieu)	LATITUDE	LONGITUDE	PROFONDEUR (en m)	QUANTITÉ À IMMERGER (en m ³ ou t)
--	----------	-----------	----------------------	--

Fournissez une estimation du déplacement et de la dispersion de la substance dans la colonne d'eau et au fond de la mer. De plus, dans le cas d'un nouveau lieu d'immersion ou d'un rejet sur les glaces, donnez les renseignements applicables prévus à l'annexe II.

NOMBRE DU PAGES JOINTES

19. PARCOURS DU LIEU DE CHARGEMENT AU LIEU D'IMMERSION - Joignez une carte ou une série de dessins reproductibles de bonne qualité montrant les lieux de chargement et d'immersion. Si le parcours n'est pas direct, expliquez pourquoi et tracez sur la carte ou les dessins le parcours projeté.

NOMBRE DU DOCUMENTS JOINTES

20) ÉQUIPEMENT ET MÉTHODES - Décrivez l'équipement et les méthodes à utiliser à chaque lieu de chargement et d'immersion. De plus, dans le cas d'un rejet par incinération ou emploi d'autres moyens de dégradation thermique, donnez les renseignements applicables prévus à la partie II de l'annexe I.

21) MÉTHODES D'EMBALLAGE ET DE CONFINEMENT

RENSEIGNEMENTS SUR L'IMMERSION

22) QUANTITÉ MAXIMALE PAR IMMERSION (en m³ ou t)

23) CADENCE (s'il y a lieu)
(en m³ /h ou t/h)

24) FRÉQUENCE (nombres d'immersions par jour, semaine ou mois)

25) VITESSE PENDANT L'IMMERSION

26) TEMPS NÉCESSAIRE POUR LE REJET (ou temps requis pour couler) (en min)

27) PARCOURS SUIVI PENDANT L'IMMERSION

RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LE TRANSPORTEUR

28) NOM ET ADRESSE DU TRANSPORTEUR

29. N° DE TÉLÉPHONE

30. NOM, TITRE ET ADRESSE DU PROPRIÉTAIRE DU NAVIRE, DE L'AÉRONEF, DE LA PLATE-FORME OU DE L'OUVRAGE D'OÙ L'IMMERSION EST EFFECTUÉE

31. N° DE TÉLÉPHONE

32. NOM DES PERSONNES RESPONSABLES DU CHARGEMENT OU DE L'IMMERSION AU NOM DU DEMANDEUR (indiquez aussi le nom du capitaine)

33. N° DE TÉLÉPHONE

34. NOM OU NUMÉRO D'IDENTIFICATION DU NAVIRE, DE L'AÉRONEF, DE LA PLATE-FORME OU DE L'OUVRAGE D'OÙ L'IMMERSION EST EFFECTUÉE

35. AUTORISATIONS - Énumérez les permis, licences et examens, y compris les évaluations des répercussions environnementales, exigés par les organismes fédéraux, provinciaux, territoriaux, municipaux ou locaux pour l'exécution de l'activité visée par la présente demande.

ORGANISME RESPONSABLE	TYPE D'AUTORISATION	NUMÉRO D'IDENTIFICATION	DATE DE LA DEMANDE	DATE DE L'AUTORISATION	DATE DU REFUS
------------------------------	----------------------------	--------------------------------	---------------------------	-------------------------------	----------------------

36. PRÉAVIS - Joignez une preuve qu'un préavis de la présente demande a été publié dans un journal à grand tirage publié près du lieu de chargement, d'immersion ou d'abandon mentionné dans la demande.

COUPURE DE JOURNAL JOINTE

NOM DU JOURNAL

LIEU DE PUBLICATION
(VILLE ET PROVINCE)

DATE DE PUBLICATION

PARTIE C - RENSEIGNEMENTS SUR LES OPTIONS AUTRES QUE L'IMMERSION EN MER

37. VÉRIFICATION RELATIVE À LA GESTION DES DÉCHETS - Énumérez toutes les mesures prises pour **RÉDUIRE, RÉUTILISER, RECYCLER ET RÉCUPÉRER** la substance à immerger.

NOMBRE DE PAGES JOINTES

38. AUTRE OPTIONS - Fournissez une évaluation comparative de l'immersion en mer et des autres solutions possibles (le traitement, l'élimination sur terre, etc.) au regard des paramètres suivants :

Répercussions sur l'environnement

Risques pour la santé humaine

Dangers (dont les accidents) reliés au traitement, à l'emballage, au transport et à l'élimination

Aspect économique (dont les coûts énergétiques)

Conflits d'utilisation (potentiels et réels) des ressources

NOMBRE DE PAGES JOINTES

PARTIE D - DONNÉES CHRONOLOGIQUES

39. MÉTHODES D'ÉLIMINATION ANTÉRIEURES- Décrivez, le cas échéant, les méthodes que vous avez utilisées antérieurement, autres que l'immersion en mer, pour éliminer le type de substance à immerger. Indiquez également les dates et les lieux.

40. ANTÉCÉDENTS DES LIEUX DE CHARGEMENT- Dans le cas des matières draguées ou excavées, indiquez les utilisations de chaque lieu de dragage ou d'excavation au cours des 10 dernières années.

NOMBRE DE PAGES JOINTES

PARTIE E - DONNÉES CHIMIQUES, BIOLOGIQUES ET PHYSIQUES

41. DONNÉES CHIMIQUES - Indiquez la composition chimique de la substance. Joignez, dans la mesure du possible, les données et les méthodes détaillées ainsi que les données et les méthodes d'assurance et de contrôle de la qualité. Si les données ne sont pas fournies, expliquez pourquoi. De plus, donnez les renseignements applicables prévus à la partie I ou II de l'annexe I.

NOMBRE DE PAGES JOINTES

42. DONNÉES BIOLOGIQUES - Fournissez une évaluation des effets possibles, notamment la toxicité de la substance sur les ressources marines vivantes. Joignez, dans la mesure du possible, les données et les méthodes détaillées d'évaluation biologique ainsi que les données et les méthodes d'assurance et de contrôle de la qualité. Si les données ne sont pas fournies, expliquez pourquoi.

NOMBRE DE PAGES JOINTES

43. DONNÉES PHYSIQUES - Fournissez une évaluation des effets physiques à long terme que pourrait avoir la substance une fois immergée. Joignez, dans la mesure du possible, les données et les méthodes physiques détaillées ainsi que les données et les méthodes d'assurance et de contrôle de la qualité. Si les données ne sont pas fournies, expliquez pourquoi. De plus, donnez les renseignements applicables prévus à la partie I de l'annexe I.

NOMBRE DE PAGES JOINTES

PARTIE F - PROXIMITÉ ET ATTÉNUATION

44. PROXIMITÉ D'INSTALLATIONS - Dans le cas des matières draguées ou excavées, fournissez, pour chaque lieu de chargement, une carte sur laquelle est indiqué, au moyen des symboles ci-dessous, l'emplacement des principales installations exploitées et fermées ou ayant existées, situées à proximité du lieu. Indiquez pour chaque installation vos sources de renseignements (s'il s'agit d'une personne, donnez ses nom, adresse et numéro de téléphone) et, dans la mesure du possible, fournissez une copie des renseignements.

INSTALLATION	SYMBOLE		SOURCE DE RENSEIGNEMENTS
	EXPLOITÉE	FERMÉE OU AYANT EXISTÉE	
S Raffineries de pétrole	(O)	(O*)	
S Usines (précisez le type)	(M)	(M*)	
S Mines (précisez le type) (N)		(N*)	
S Exutoires d'égout	(S)	(S*)	
S Égouts et canalisations pour les eaux pluviales	(P)	(P*)	
S Quais de chargement	(D)	(D*)	
S Autres industries (précisez)	(I)	(I*)	
S Autres sources de pollution et de contamination (précisez)	(C)	(C*)	

NOMBRE DE PAGES JOINTES

45. PROXIMITÉ DE ZONES SENSIBLES - Dans le cas d'un nouveau lieu d'immersion, fournissez une carte sur laquelle est indiqué, au moyen des symboles ci-dessous, l'emplacement des zones sensibles avoisinantes situées à proximité du lieu. Indiquez pour chaque zone vos sources de renseignements (s'il s'agit d'une personne, donnez ses nom, adresse et numéro de téléphone) et, dans la mesure du possible, fournissez une copie des renseignements.

ZONES	SYMBOLE	SOURCE DE RENSEIGNEMENTS
S Zones récréatives	(RA)	
S Zones de frai et d'alevinage	(SN)	
S Voies migratoires connues des ressources marines vivantes	(MR)	
S Zones de pêche sportive ou commerciale	(FA)	
S Zones ayant une valeur esthétique, culturelle ou historique importante	(BH)	
S Zones d'intérêt scientifique ou biologique particulier	(IS)	
S Mariculture	(MC)	
S Routes maritimes	(SL)	
S Zones du fond marin utilisées à des fins techniques (exploitation minière, câbles, dessalement ou conversion de l'énergie)	(EU)	
S Autres zones (décrivez leur utilisation)	(XZ)	

NOMBRE DE PAGES JOINTES

46. ATTÉNUATION- Proposez des mesures visant à réduire au minimum les répercussions sur l'environnement, la santé, la navigation et les qualités esthétiques des lieux pendant le chargement, le transport et l'immersion. De plus, donnez les renseignements applicables prévus à la partie II de l'annexe I.

47. CONTRAINTES TEMPORELLES - Si le lieu de chargement ou d'immersion se trouve à proximité de zones de frai, de voies migratoires ou de zones de pêche, indiquez les principales espèces concernées et les périodes pendant lesquelles elles sont le plus sensibles (périodes actives de l'année).

La présente demande de permis vise l'autorisation de l'activité qui y est décrite. J'atteste que j'ai pleine connaissance des renseignements figurant dans la présente demande et que, pour autant que je sache, ils sont véridiques, complets et exacts. J'atteste en outre qu'il est en mon pouvoir d'entreprendre l'activité proposée ou que je suis dûment autorisé à agir au nom du demandeur.

_____	_____	_____
Date	Nom (caractères d'imprimerie)	Signature
	_____	_____
	N° de téléphone	N° de télécopieur

Veillez faire parvenir votre demande de permis dûment remplie ainsi que les pièces jointes à l'une des personnes suivantes :

Demande provenant du Canada:

Directeur régional
Région de l'Atlantique
Conservation et Protection
Ministère de l'Environnement
Queen Square, 15^e étage
45 Alderney Drive
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
B2Y 2N6

Directeur régional
Région du Québec
Conservation et Protection
Ministère de l'Environnement
1179 rue de Bleury Street, 2^e étage
Montréal (Québec)
H3B 3H9

Demande provenant de l'étranger:

Directeur, Bureau de la gestion des déchets
Conservation et Protection
Ministère de l'Environnement
Ottawa (Ontario)
CANADA
K1A 0H3

Directeur régional
Région du Pacifique et du Yukon
Conservation et Protection
Ministère de l'Environnement
224 West Esplanade
North Vancouver (Colombie-Britannique)
V7M 3H7

Directeur de district
Bureau de district des Territoires du Nord-Ouest
Conservation et Protection
Ministère de l'Environnement
Édifce Bellanca, 9^e étage
C.P. 370
Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest)
X1A 2N3

Directeur de district
Bureau de district de Terre-Neuve
Conservation et Protection
Ministère de l'Environnement
C.P. 5037
St. John's (Terre-Neuve)
A1C 5V3

Annexe I

Partie I

RENSEIGNEMENTS MINIMAUX‡ À FOURNIR (SELON LE TYPE DE SUBSTANCE) DANS LE CAS D'UN REJET AUTREMENT QUE PAR INCINÉRATION OU EMPLOI D'AUTRE MOYENS DE DÉGRADATION THERMIQUE

Chaque type de substance nécessite des renseignements différents qui doivent être inscrits sur le formulaire là où ils sont demandés. Au besoin, joignez des pages additionnelles. Dans le cas d'un rejet pas incinération ou emploi d'autres moyens de dégradation thermique, consultez la partie II.

MATIÈRES DRAGUÉES OU EXCAVÉES

14. Substance à immerger

Sol ou sédiments

Autres composants (ex. : déchets ligneux)

41. Données chimiques

Composition chimique du sol ou des sédiments au regard des paramètres suivants :

cadmium

mercure

biphényles polychlorés (BPC)

hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) totaux

HAP de faible poids moléculaire

HAP de poids moléculaire élevé

carbone organique total

43. Données physiques

Granulométrie du sol ou des sédiments

DÉCHETS DE PÊCHE

14. Substance à immerger

Espèces

Type de déchets (ex., coquilles, issues)

Source des déchets

‡ En vertu de l'alinéa 71(1)(b) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, le ministre peut exiger que des renseignements additionnels soient fournis dans la présente demande pour la prise en compte des facteurs prévus au paragraphe 72 (1) de cette loi.

NAVIRES, AÉRONEFS, PLATES-FORMES ET AUTRES OUVRAGES

14. Substance à immerger

Nom (s'il y a lieu)
Lieu d'enregistrement
Modèle ou numéro d'immatriculation officiel
Dimensions
Poids (port et lourd)
Principaux matériaux de construction
Nom et adresse du propriétaire
État ou condition de prendre la mer (navigabilité) (s'il y a lieu)

41. Données chimiques

Cargaison, combustible et matières dangereuses, y compris les produits chimique, laissés à bord

43. Données physiques

Dernière cargaison
Type de moteur laissé à bord
Nature et poids du lest laissé à bord

FERRAILLE ET AUTRES MATIÈRES ENCOMBRANTES

14. Substance à immerger

Principaux composants (composition)
Dimensions
Poids (en t)

41. Données chimiques

Contamination par des matières dangereuses, y compris les produits chimiques

AUTRES SUBSTANCES

14. Substance à immerger

Principaux composants (composition)
Provenance de la substance et type de transformation qui a donné lieu à sa production

Annexe I

Partie II

RENSEIGNEMENTS MINIMAUX‡ À FOURNIR DANS LE CAS D'UN REJET PAR INCINÉRATION OU EMPLOI D'AUTRES MOYENS DE DÉGRADATION THERMIQUE

Inscrivez les renseignements exigés sur le formulaire là où ils sont demandés. Au besoin, joignez des pages additionnelles. Dans le cas d'un rejet autrement que par incinération ou emploi d'autres moyens de dégradation thermique, consultez la partie I.

TOUTES LES SUBSTANCES

14. Substance à immerger

Principaux composants (composition)

Description des produits de combustion et indication de leur taux de production

Provenance de la substance et type de transformation qui a donné lieu à sa production

20. Équipement et méthodes

Description de l'équipement d'incinération

Description du système d'épuration des polluants atmosphériques

Description des systèmes de surveillance et de contrôle existants

Dimensions de la cheminée

Température de combustion

Temps de rétention

Rendement des équipements de combustion et de destruction

Capacité de respecter les *Lignes directrices relatives au fonctionnement et aux émissions des incinérateurs de déchets solides urbains*, avec ses modifications successives, publiées par le Conseil canadien des ministres de l'environnement, rapport CCME-TS/WM-TRE003

Capacité de respecter les Règles relatives au contrôle de l'incinération en mer des déchets et autres matières, avec ses modifications successives, figurant à l'annexe I de la *Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets*, entrée en vigueur le 30 août 1975

41. Données chimiques

Émissions de la cheminée - résultats des derniers essais (matières particulaires, chlorure d'hydrogène [HCl], monoxyde de carbone [CO], dioxines et furannes)

46. Atténuation

Méthodes employées pour respecter les règlements applicables sur le bruit

Méthodes de gestion des cendres et de réduction des émissions fugitives

Méthodes de gestion des eaux usées permettant de respecter les normes provinciales ou municipales de rejet

Méthodes de prévention des dangers pour les autres navires

Méthodes d'intervention et plans d'urgence visant les déversements

Méthodes d'arrêt d'urgence

Compétence du personnel exécutant

‡ En vertu de l'alinéa 71(1)(b) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, le ministre peut exiger que des renseignements additionnels soient fournis dans la présente demande pour la prise en compte des facteurs prévus au paragraphe 72(1) de cette loi.

Annexe II

RENSEIGNEMENTS MINIMAUX‡ À FOURNIR À L'ÉGARD D'UN REJET À UN LIEU D'IMMERSION NOUVEAU ET SUR LES GLACES

Inscrivez les renseignements exigés sur le formulaire là où ils sont demandés. Au besoin, joignez des pages additionnelles. Avant de recueillir des données sur un nouveau lieu d'immersion, communiquez avec le bureau régional responsable du contrôle des immersions en mer, car il est possible que certains renseignements soient déjà fichés.

REJET À UN LIEU D'IMMERSION NOUVEAU

18. Lieu d'immersion

Bathymétrie
Transport des sédiments
Salinité
Courants
Composition des sédiments au regard des paramètres suivants :
 cadmium
 mercure
 biphényles polychlorés (BPC)
 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) totaux
 HAP de faible poids moléculaire
 HAP de poids moléculaire élevé

REJET SUR LES GLACES

18. Lieu de rejet

Superficie de la glace utilisée pour le rejet
Épaisseur de la glace au lieu proposé (en m)
Date prévue de la rupture de la glace (année/mois/jour)
Emplacement prévu de la rupture de la glace (lat. et long.)
Intervalle estimé entre la rupture et la fonte de la glace (en jour)
Profondeur estimée de l'eau au lieu de rejet (en m)

‡En vertu de l'alinéa 71(1)(b) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, le ministre peut exiger que des renseignements additionnels soient fournis dans la présente demande pour la prise en compte des facteurs prévus au paragraphe 72(1) de cette loi.