



**Programme des
Nations Unies
pour l'environnement**



UNEP(OCA)/MED WG.114/3
21 avril 1996

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANEE

Réunion sur l'élaboration de lignes directrices
sur la gestion des matériaux de dragage

Valence, Espagne, 20-22 mai 1996

**PROJET DE LIGNES DIRECTRICES
SUR LA GESTION DES MATERIAUX DE DRAGAGE**

TABLE DES MATIERES

| | PAGE |
|--|-------------|
| Préface | 1 |
| Introduction | 1 |
| PARTIE A: EVALUATION ET GESTION DES MATERIAUX DE DRAGAGE | |
| 1. Exigences du protocole immersions | 3 |
| 2. Conditions dans lesquelles les permis d'immersion de matériaux de dragage peuvent être accordés | 3 |
| 3. Appréciation des caractéristique et de la composition des déblais de dragage | 4 |
| 4. Lignes directrices sur l'échantillonnage et l'analyse des déblais de dragage | 7 |
| 5. caractéristiques du lieu de l'immersion et méthode d'immersion | 9 |
| 6. Considérations et circonstances générales | 11 |
| 7. Techniques de gestion des éliminations | 14 |
| PARTIE B:LA SURVEILLANCE DES OPERATIONS D'IMMERSION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE | |
| Définition | 17 |
| Objectifs | 17 |
| Stratégie | 17 |
| Hypothèse d'impact | 17 |
| Surveillance | 19 |
| SUPPLEMENTS TECHNIQUES AUX LIGNES DIRECTRICES SUR LA GESTION DES MATERIAUX DE DRAGAGE | |
| Annexe technique 1: Analyses nécessaires a l'évaluation des matériaux de dragage | 21 |
| Annexe technique 2: techniques de normalisation de la distribution spatiale des polluants | 23 |

Préface

Le présent projet de lignes directrices élaboré par des experts espagnols à l'intention du PAM, est destiné à aider les Parties contractantes dans la future mise en oeuvre du "Protocole relatif à la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronef ou d'incinération en mer", ci-après dénommé "le Protocole" dans la gestion des matériaux de dragage; le Protocole a été signé par 16 Parties contractantes en 1995 et n'est pas encore entré en vigueur. Les lignes directrices sont une adaptation de celles de la Commission de la Convention d'Oslo. Implicitement toutefois, les considérations générales et les procédures détaillées dont il est fait état dans les lignes directrices ne peuvent s'appliquer dans toutes les circonstances nationales ou locales.

Introduction

Les présentes lignes directrices sont conçues pour faciliter le travail des Parties contractantes dans la gestion des matériaux de dragage, dans des conditions telles que cette gestion puisse empêcher la pollution du milieu marin. Conformément à l'article 6.2 du Protocole, les lignes directrices portent spécifiquement sur l'élimination des matériaux de dragage par dépôt ou immersion dans les eaux marines et estuariennes.

Il convient de reconnaître qu'aussi bien l'enlèvement que l'élimination des sédiments dragués est susceptible de porter atteinte au milieu marin. En conséquence, les Parties contractantes sont incitées à exercer un contrôle sur les opérations de dragage ainsi que sur l'élimination, ceci en appliquant la stratégie de la meilleure pratique environnementale (BEP) afin de minimiser d'une part la quantité de matériaux à draguer, et d'autre part l'impact des opérations de dragage et d'élimination dans la zone maritime. L'on pourra se procurer, auprès d'un certain nombre d'organisations internationales, et notamment la "Permanent International Association of Navigation Congresses" (PIANC), 1986: "Disposal of Dredged Material at Sea" (L'élimination des matériaux de dragage en mer) (CLI/SG9/2/1) des conseils sur les techniques de dragage tolérables du point de vue environnemental.

Les lignes directrices sont divisées en deux parties: la Partie A traite de l'évaluation et de la gestion de l'élimination des matériaux de dragage, tandis que la Partie B donne des indications sur la conception et la réalisation de la surveillance des zones d'élimination marines et estuariennes. Dans ce contexte, il convient de noter que, au titre de chacune des opérations de dragage autorisées, les agences réglementaires devraient procéder à leurs évaluations des hypothèses d'impact concises (voir Partie B, paragraphes 5 à 12). Cette hypothèse d'impact constituera la base principale de la conception des activités post-opérationnelles de surveillance.

Les lignes directrices commencent par un résumé des articles du Protocole sur les immersions de la Convention de Barcelone qui ont trait au contrôle des activités de dragage, et se poursuivent par des indications sur les conditions dans lesquelles les permis sont susceptibles d'être accordés. Les chapitres 3, 5 et 6 ont trait aux considérations pertinentes de l'Annexe au Protocole, à savoir caractéristiques des matériaux de dragage (Section A), caractéristiques de la zone d'immersion et méthodes de dépôt (Section B), ces chapitres faisant en outre état de considérations et de conditions générales (Section C) Le Chapitre 4 donne des conseils complémentaires sur l'échantillonnage et l'analyse des matériaux de dragage.

PARTIE A

EVALUATION ET GESTION DES MATERIAUX DE DRAGAGE

1. EXIGENCES DU PROTOCOLE SUR LES IMMERSIONS

1.1 En conformité avec l'article 4 du Protocole, l'immersion des matériaux de dragage peut être autorisée avec certaines conditions.

1.2 l'article 5 établit que l'immersion est subordonnée à la délivrance préalable, par les autorités nationales compétentes, d'un permis spécial.

1.3 l'article 6 détermine que les permis ne seront délivrés qu'après examen attentif de tous les facteurs énumérés à l'Annexe du Protocole. L'article 6 indique aussi que les Parties contractantes élaborent et adoptent des critères, lignes directrices et procédures pour l'immersion des déchets et autres matières énumérés au paragraphe 2 de l'article 4 du Protocole, dans le but de prévenir, réduire et éliminer la pollution.

1.4 Les présentes Lignes Directrices sur la gestion des Déblais de Dragage, qui contiennent des conseils sur l'échantillonnage et l'analyse des déblais de dragage, serviront de guide aux Parties contractantes dans:

- (a) l'accomplissement des obligations qui sont les leurs quant à la délivrance de permis d'immersion de déblais de dragage dans les conditions prévues par le Protocole;
- (b) la communication de données fiables sur les apports de polluants aux eaux du Protocole par suite de l'immersion de déblais de dragage.

2. CONDITIONS DANS LESQUELLES LES PERMIS D'IMMERSION DE MATERIAUX DE DRAGAGE PEUVENT ETRE ACCORDES

2.1 Pour pouvoir définir les conditions dans lesquelles les permis d'immersion de matériaux de dragage sont susceptibles d'être accordés, les Parties contractantes devraient élaborer des critères à l'échelon national, critères satisfaisant aux dispositions des Articles 4, 5 et 6 du Protocole.

2.2 Ces critères pourront être exprimés en termes suivants:

- (a) caractéristiques chimiques et/ou effets biologiques (par exemple, critères de qualité des sédiments);
- (b) données de référence liées à telles ou telles méthodes d'élimination ou à telles zones d'élimination;
- (c) effets environnementaux spécifiques aux immersions de matériaux de dragage, devant être empêchés en dehors des zones d'élimination désignées;
- (d) contribution de l'élimination aux flux de polluants.

2.3 Les critères devraient être déduits de l'étude de sédiments présentant des propriétés géochimiques analogues à celles des sédiments à draguer et/ou du système récepteur. Ainsi,

suivant la variation naturelle de la géochimie des sédiments, il peut s'avérer nécessaire d'élaborer des séries individuelles de critères pour la zone dans laquelle le dragage est réalisé.

2.4 Dans l'éventualité où les critères et les plafonds réglementaires correspondants ne peuvent être satisfaits, une Partie contractante ne devrait pas accorder de permis sauf si un examen approfondi dans les conditions visées en Section C de l'Annexe au Protocole indique que, néanmoins, l'élimination en mer constitue l'option la moins préjudiciable. Si une telle conclusion est tirée, la Partie contractante:

- (a) assume la mise en oeuvre d'un programme de réduction, dans la mesure où il existe une source à réduire dans le but de satisfaire aux critères définis;
- (b) prend toutes les mesures concrètes afin d'atténuer l'impact de l'opération d'immersion sur le milieu marin et estuarien dont, par exemple, le recours à des méthodes de confinement et de traitement;
- (c) met sur le pied une hypothèse d'impact détaillée;
- (d) lance une surveillance conçue pour vérifier tout effet préjudiciable que l'immersion est censée avoir;
- (e) émet un permis spécifique.

Lorsque les techniques de gestion de l'élimination n'ont guère de chances d'atténuer les effets nocifs des matériaux pollués (voir chapitre 7), des techniques de confinement et/ou de traitement peuvent être utilisées afin de prévenir les dommages pour l'environnement. Dans de tels cas, l'on peut avoir recours à un dragage sélectif ou à la séparation des fractions les plus polluées (par exemple grâce à des hydrocyclones) et minimiser ainsi les quantités de matériaux pour lesquels ces mesures sont nécessaires.

2.5 Pour évaluer les possibilités d'harmonisation ou de consolidation des critères évoqués aux para. 2.1 à 2.4 ci-dessus, y compris tous les critères de qualité des sédiments, les Parties contractantes sont priées de communiquer à l'Organisation les critères adoptés, ainsi que les éléments scientifiques à la base de l'élaboration des dits critères.

2.6 Dans la gestion des activités de dragage, l'un des éléments importants des présentes lignes directrices tient à la préparation d'une hypothèse d'impact au titre de chacune des opérations d'immersion en mer. En concluant leur évaluation des conséquences environnementales de ces opérations, avant que le permis ne soit accordé, les Parties contractantes devraient formuler des hypothèses d'impact conformément aux indications données en Partie B, paragraphes 6 à 9.

3. APPRECIATION DES CARACTERISTIQUES ET DE LA COMPOSITION DES DEBLAIS DE DRAGAGE

- (a) Quantité totale et composition moyenne.
 - (b) Quantité des substances et matériaux devant être immergés par jour (par semaine, par mois)
 - (c) Forme sous laquelle les déchets sont destinés à être immergés, c'est-à-dire solide, boueuse ou liquide
-

3.1 Pour tous les déblais de dragage à éliminer en mer, les renseignements suivants doivent être obtenus:

- tonnage brut à l'état humide
- méthode de dragage
- détermination visuelle des caractéristiques des sédiments (argile-vase/sable/gravier/roches)

3.2 Pour pouvoir juger de la capacité de la zone à recevoir des déblais de dragage, la quantité totale de matériau et le taux prévu ou réel de chargement de la zone d'élimination doivent être pris en considération.

3.3 En l'absence de sources appréciables de pollution, les matériaux de dragage peuvent être exemptés des analyses visées aux paragraphes 3.5 et 3.8 des présentes lignes directrices, sous réserve qu'ils répondent à l'un des critères ci-dessous énumérés; dans de tels cas, il convient de tenir compte des dispositions des Sections B et C de l'Annexe (voir chapitres 5 et 6 ci-après) :

- (a) Les matériaux dragués sont presque exclusivement composés de sable, de gravier ou de roche; ces matériaux sont fréquemment extraits de zones à fort courant ou de houle à haute énergie, telles que les cours d'eau aux lits fortement chargés ou les zones côtières à barres et chenaux mobiles;
- (b) Les matériaux dragués sont destinés à nourrir ou à restaurer les plages et sont surtout composés de sable, de gravier ou de coquilles dont la granulométrie est compatible avec le matériau des plages réceptrices; et
- (c) En l'absence de sources appréciables de pollution, les matériaux de dragage ne dépassant pas 10 000 tonnes par an et engendrés par de petites opérations de dragage isolées et uniques, ne peuvent être exemptés que si l'on dispose déjà d'informations sur la qualité des sédiments de la zone.

Dans le cas des dragages de grands travaux, les autorités nationales pourront tenir compte de la nature des matériaux à éliminer en mer, ceci en exemptant une partie des matériaux des exigences des présentes lignes directrices eu égard à l'échantillonnage et à l'analyse. D'un autre côté, les dragages de grands travaux dans les zones susceptibles de contenir des sédiments pollués devraient faire l'objet d'une caractérisation dans les conditions visées par les présentes lignes directrices, et notamment par le paragraphe 3.5

-
- (d) Propriétés physiques (en particulier solubilité et densité), chimiques, biochimiques (demande en oxygène, apport nutritif) et biologiques (présence de virus, bactéries, levures, parasites, etc.)
-

3.4 Dans le cas de déblais de dragage ne répondant pas aux exemptions stipulées au paragraphe 3.3, des renseignements complémentaires sont nécessaires pour apprécier pleinement l'impact. Il se peut que les renseignements en question puissent être obtenus auprès de sources existantes, par exemple par suite d'observations faites sur le terrain quant à l'impact de matériaux analogues sur des lieux semblables, ou du fait des résultats d'analyses antérieures sur des matériaux analogues dosés pendant les cinq derniers ans, ou encore de la

connaissance que l'on a des rejets locaux ou autres sources de pollution, connaissance étayée par des analyses sélectives.

3.5 A titre de première étape, une caractérisation chimique est nécessaire afin d'estimer les charges brutes de polluants, surtout dans le cas des nouvelles opérations de dragage. En ce qui concerne les éléments et les composés à analyser, les exigences sont exposées aux paragraphes 4.11 et 4.12.

3.6 Lorsque l'on peut trouver que le matériau à immerger possède des propriétés chimiques et physiques très semblables à celles des sédiments du lieu envisagé pour l'immersion, il se peut que les analyses biologiques décrites au paragraphe 3.8 ne soient pas nécessaires, sous réserve toutefois que les impacts combinés dans la zone d'élimination ne dépassent pas les objectifs de gestion environnementale de la zone en question.

-
- (e) Toxicité
 - (f) Persistance
 - (g) Accumulation dans les matières biologiques ou les sédiments
-

3.7 Le but des analyses stipulées au présent chapitre est de savoir si l'élimination en mer de déblais de dragage, contenant des substances polluantes, est susceptible d'avoir des effets indésirables, en particulier des effets toxiques, chroniques ou aigus chez les organismes marins ou pour la santé de l'homme, du fait ou non de leur bioaccumulation dans les organismes marins et surtout dans les espèces comestibles.

3.8 Les procédures d'analyse biologique ci-après sont susceptibles de ne pas être nécessaires si la caractérisation antérieure du matériau et de la zone réceptrice permet d'apprécier l'impact environnemental. si toutefois, l'analyse antérieure montre que des substances polluantes sont présentes en quantités considérables, ou qu'il contient des substances dont on ne connaît pas les effets biologiques et si les effets antagonistes ou synergiques de plus d'une substance sont préoccupants, s'il y a un quelconque doute quant à la composition ou aux propriétés exactes du matériau, il se peut qu'il soit nécessaire de mettre en oeuvre les procédures d'analyse biologique. Ces analyses pourraient éventuellement comprendre les suivantes :

- analyses de toxicité aiguë;
 - analyses de toxicité chronique, capables d'évaluer les effets subléthaux à long terme, telles qu'analyses biologiques sur la totalité du cycle de vie; et analyses visant à déterminer la bioaccumulation potentielle de la substance préoccupante.
-

- (h) Transformations chimiques, physiques et biochimiques des déchets après déversement,
-

3.9 Lorsqu'elles pénètrent dans le milieu marin les substances présentes dans les déblais de dragage subissent parfois des modifications physiques, chimiques et biochimiques. La sensibilité du matériau de dragage à ces modifications doit être considérée à la lumière du sort

et des effets potentiels du matériau. Ces éléments peuvent être représentés dans l'hypothèse d'impact ainsi que dans un programme de surveillance.

-
- (i) Probabilité d'altération diminuant la valeur commerciale des ressources marines (poissons, mollusques, etc.)
-

3.10 Il est recommandé de procéder à une bonne sélection de la zone d'immersion plutôt qu'à des essais en application réelle. Pour minimiser l'impact sur les zones de pêche d'agrément ou sur les zones de pêche commerciale, la sélection de l'emplacement constitue un élément essentiel dans la protection des ressources; elle est abordée de façon plus approfondie en Section C de l'Annexe ou Protocole. (On trouvera au chapitre 6 ci-après des indications complémentaires sur la mise en oeuvre de la Section C de l'Annexe ou Protocole).

4. LIGNES DIRECTRICES SUR L'ECHANTILLONNAGE ET L'ANALYSE DES DEBLAIS DE DRAGAGE

L'échantillonnage des matériaux dragués aux fins de la délivrance d'un permis d'immersion.

4.1 Dans le cas des matériaux de dragage qui requièrent une analyse (autrement dit, non-exemptés en vertu des lignes directrices données au paragraphe 3.3), les lignes directrices suivantes indiquent comment obtenir des données analytiques suffisantes aux fins de la délivrance du permis. Le jugement et la connaissance des conditions locales jouent un rôle fondamental dans l'application de ces lignes directrices à telle ou telle opération (voir paragraphe 4.10).

4.2 On procédera à une étude in situ de la zone à draguer. La distribution et la profondeur de l'échantillonnage doit refléter la taille de la zone à draguer, le volume à draguer et la variabilité probable dans la distribution horizontale et verticale des polluants. On prélèvera des carottes là où la profondeur du dragage et où la distribution verticale probable des polluants le justifient, faute de quoi un prélèvement par benne preneuse est considéré comme adéquat. Un échantillonnage à partir d'une péniche est déconseillé.

4.3 Le tableau ci-après donne des indications sur le nombre de stations qu'il convient d'échantillonner afin d'obtenir des résultats représentatifs si l'on présume que la région à draguer est raisonnablement uniforme:

| <u>Volume dragué (m³)</u> | | <u>Nombre de Stations</u> |
|--------------------------------------|-------------|---|
| Jusqu'à | 25 000 | 3 |
| 25 000 | - 100 000 | 4 - 6 |
| 100 000 | - 500 000 | 7 - 15 |
| 500 000 | - 2 000 000 | 16 - 30 |
| >2 000 000 | | 10 de plus par million de m ³ supplémentaire |

On ajustera le nombre de stations en fonction des caractéristiques d'échange de la zone; par exemple, leur nombre sera moindre dans les zones ouvertes, et sera plus important dans les zones fermées et semi-fermées.

4.4 Normalement, les échantillons prélevés à chaque station doivent être analysés séparément. Toutefois, si de toute évidence les sédiments sont homogènes par leurs caractéristiques (granulométrie, fractions et matière organique) et le niveau probable de la pollution, il est possible de former des échantillons composites avec des échantillons prélevés en des emplacements adjacents, à raison de deux ou plus à la fois, sous réserve que des précautions aient été prises afin que les résultats donnent une teneur moyenne justifiée en polluants. Les échantillons d'origine doivent être conservés jusqu'à ce que l'opération autorisée soit achevée, ce dans l'éventualité où les résultats indiqueraient que de nouvelles analyses sont nécessaires.

Fréquence des échantillonnages

4.5 Si une étude prouve que pour l'essentiel, le matériau est propre, il n'est pas nécessaire que l'intensité des études soit supérieure à trois ans.

4.6 Il est peut-être possible, au vu de l'étude initiale, de réduire soit le nombre de stations d'échantillonnage, soit le nombre de paramètres, tout en obtenant suffisamment de renseignements pour confirmer l'analyse initiale aux fins de la délivrance du permis. Si un programme d'échantillonnage ainsi réduit ne confirme pas l'analyse antérieure, l'étude initiale doit être réitérée. Si l'on réduit le nombre de paramètres à doser de façon répétitive, une nouvelle analyse de tous les paramètres énumérés sur la liste est conseillée à intervalles de 5 ans.

4.7 Dans les zones où les sédiments ont tendance à présenter de hauts degrés de pollution, ou où la distribution des polluants évolue rapidement du fait de la fluctuation de facteurs environnementaux, l'analyse des polluants pertinents doit être fréquente et liée à la procédure de renouvellement des permis.

Communication des données sur les apports

4.8 Le plan d'échantillonnage ci-dessus décrit fournit des renseignements aux fins de la délivrance des permis. Toutefois, on peut aussi s'appuyer sur ce plan pour estimer le total des apports et, pour l'instant, ce plan peut être considéré comme la stratégie la plus précise à cet égard. Dans ce contexte, il est présumé que les matériaux exemptés d'analyse représentent des apports insignifiants de matières polluantes, d'où le fait qu'il ne soit pas nécessaire de calculer ni de communiquer les charges en polluants.

Paramètres et méthodes

4.9 L'analyse doit normalement être faite sur l'échantillon entier, en excluant toutefois le matériau d'une granulométrie supérieure à 2 mm. Il sera par ailleurs nécessaire, pour que l'impact éventuel des teneurs en polluants puisse être apprécié, de donner les renseignements suivants:

- densité (en tenant compte de la méthode de prélèvement et de la manipulation de l'échantillon)
- pourcentage de solides
- fractions granulométriques
(% de sable, de vase, d'argile)

- carbone organique total (COT) dans la fraction < 2 mm

4.10 Dans les cas où l'analyse est nécessaire, elle devient alors obligatoire pour les substances énumérées à l'Annexe Technique I. En ce qui concerne les organochlorés, les PCB restant d'importants polluants environnementaux, ils doivent être dosés sur les matériaux non exemptés. D'autres organohalogénés doivent aussi être dosés s'ils sont susceptibles d'être présents en raison d'apports locaux.

4.11 De plus, l'autorité chargée de la délivrance du permis doit considérer avec attention les apports locaux spécifiques, y compris la probabilité d'une pollution, par exemple par de l'arsenic, des hydrocarbures, des HAP et des tri-organostanneux. L'autorité doit prendre des dispositions afin de doser ces substances le cas échéant.

4.12 On trouvera de plus amples indications sur le choix des paramètres et des méthodes d'analyse des polluants dans les conditions locales, ainsi que sur les procédures à appliquer aux fins de l'harmonisation et de l'évaluation de la qualité, dans les Annexes Techniques aux présentes lignes directrices telles qu'adoptées et actualisées périodiquement par les Parties contractantes.

5. CARACTERISTIQUES DU LIEU DE L'IMMERSION ET METHODE D'IMMERSION

5.1 Les études du GESAMP¹ (Rapports et études No 16: Critères scientifiques de sélection des zones d'élimination des déchets en mer, OMI 1982) (Reports and Studies No 16: Scientific Criteria for the Selection of Waste Disposal Sites, IMO 1982) ainsi que du CIEM² (annexe 6 du neuvième rapport annuel de la Commission d'Oslo), traitent de façon plus approfondie des questions relatives aux critères de sélection des zones d'immersion.

-
- (a) Situation géographique, profondeur et distance par rapport à la côte
 - (b) Emplacement par rapport aux ressources vivantes en phases adultes ou juvéniles
 - (c) Emplacement par rapport aux zones d'agrément
-

5.2 Les renseignements fondamentaux sur les caractéristiques de la zone d'immersion qui doivent être examinés par les autorités nationales à un stade très précoce de l'évaluation d'un nouveau lieu d'immersion doivent comprendre les coordonnées de la zone d'immersion (latitude, longitude), ainsi que sa situation géographique eu égard :

- à la distance par rapport aux côtes les plus proches
- aux zones d'agrément
- aux zones de frai et de culture
- aux itinéraires de migration connus des poissons ou des mammifères marins
- aux zones de pêche d'agrément et aux zones de pêche commerciale

¹ Groupe conjoint d'experts OMI/OAA/UNESCO/OMM/OMS/IAEA/NU/PNEU sur les aspects scientifiques de la pollution marine.

² Conseil International pour l'exploration de la Mer.

- aux zones de beauté naturelle ou d'une importance particulière du point de vue culturel ou historique
- aux zones d'une importance particulière du point de vue scientifique ou biologique (sanctuaires marins)
- aux routes de navigation
- aux zones réservées aux activités militaires
- aux utilisations industrielles du lit de la mer (par exemple, opérations minières éventuelles ou en cours sur le fond de la mer, câbles sous-marins, zones de dessalement ou de transformation d'énergie).

-
- (d) Méthodes de conditionnement, le cas échéant
 - (e) Dilution initiale réalisée par la méthode de décharge proposée
-

5.3 Dans le cas des matériaux de dragage, les seules données à considérer à ce titre engloberont des renseignements sur:

- la méthode d'élimination (p.ex. déchargement par goulottes ou tuyauteries)
- la méthode de dragage (p.ex. hydraulique ou mécanique).

-
- (f) Dispersion, caractéristiques de déplacement horizontal et du brassage vertical
 - (g) Existence et effets des déversements et immersions en cours et antérieurs dans la région (y compris les effets d'accumulation)
-

5.4 Pour l'évaluation des caractéristiques de dispersion, on se procurera des données sur les éléments suivants:

- profondeurs de l'eau (maximale, minimale, moyenne)
- stratification de l'eau aux diverses saisons et dans diverses conditions météorologiques (Profondeur et variation saisonnière de la pycnocline)
- Période de marée, orientation de l'ellipse de marée, vitesse du petit et du grand axes
- dérive moyenne en surface (nette): direction, vitesse
- dérive moyenne au fond (nette): direction, vitesse
- courants de fond (vitesse) dus à une tempête (houle)
- caractéristiques du vent et des houles, nombre moyen de jours de tempête par an
- concentration et composition des solides en suspension

5.5 L'évaluation de base d'une zone, qu'il s'agisse d'un emplacement nouveau ou déjà utilisé, implique que l'on tienne compte des phénomènes susceptibles de survenir du fait de l'augmentation de la teneur de certains composants ou du fait d'une interaction (effets synergétiques par exemple) avec d'autres substances introduites dans la zone, que ce soit par d'autres immersions ou par des apports fluviaux et des rejets d'origine côtière, par des zones d'exploitation, par les transports maritimes ainsi que par l'atmosphère. Il convient d'évaluer les contraintes qui s'exercent d'ores et déjà sur les communautés biologiques du fait de telles activités avant que n'aient lieu de quelconques opérations, qu'elles soient nouvelles ou complémentaires. Les utilisations futures éventuelles de la zone marine doivent être tenues sous surveillance.

5.6 Les renseignements issus des études de lignes de base et des études de surveillance continue effectuées dans des zones d'immersion existantes joueront un rôle important dans l'évaluation de toute nouvelle opération d'immersion dans la même zone ou à proximité de celle-ci.

5.7 Pour l'élimination des sédiments à faibles teneurs en polluants, l'utilisation de zones dispersives n'est pas dépourvue de risques environnementaux, et exige l'examen du devenir et des effets du matériau dispersé. Néanmoins, certains indices prouvent que dans certaines zones estuariennes bien choisies, les matériaux de dragage contribuent parfois à développer les habitats d'espèces souhaitables. Dans la prévention de la pollution marine par les matériaux de dragage, le recours à des zones de haute mer, en des points distants de la côte, constitue rarement une solution souhaitable du point de vue environnemental.

6. CONSIDERATIONS ET CIRCONSTANCES GENERALES

- (a) Atteintes portées à la navigation, à la pêche, à la détente, à l'extraction minérale, au dessalement, à la pisciculture et à la conchyliculture, aux régions d'intérêt scientifique particulier et aux autres utilisations légitimes de la mer.
-

Généralités

6.1 L'on accordera une attention particulière aux matériaux de dragage contenant des quantités significatives d'hydrocarbures ou de substances qui ont tendance à flotter après avoir été resuspendues dans la colonne d'eau. Ces matériaux ne doivent en effet pas être immergés dans des conditions ni dans des emplacements tels qu'ils soient susceptibles de porter atteinte à la pêche, à la navigation, aux agréments ou à d'autres utilisations utiles du milieu marin.

6.2 L'élimination des matériaux de dragage ne doit pas gêner, ni dévaluer, les utilisations commerciales et économiques légitimes du milieu marin. Le choix des zones d'élimination doit tenir compte de la nature et de l'ampleur des activités de pêche, qu'elles soient commerciales ou d'agrément, ainsi que des zones de frai, des zones d'élevage et des zones où les ressources s'alimentent et sur lesquelles elles reposent.

6.3 Dans la sélection des zones d'élimination, l'on évitera les habitats des espèces rares vulnérables ou en danger.

6.4 En plus des effets toxicologiques et des effets de la bioaccumulation des composants des déchets, il convient d'examiner d'autres conséquences éventuelles sur la faune et la flore marines, telles que l'enrichissement en substances nutritives, la raréfaction de l'oxygène, la turbidité, la modification de la composition des sédiments et le recouvrement de sol marin.

6.5 Il convient également de tenir compte du fait que l'évacuation en mer de certaines substances peut perturber les facultés sensorielles des poissons et peut masquer les caractéristiques naturelles de l'eau de mer ou des cours d'eau tributaires, semant ainsi la confusion chez les espèces migratoires qui perdent en conséquence leur sens de l'orientation, deviennent stériles ou n'arrivent pas à trouver de nourriture.

LA GESTION DE L'IMPACT PHYSIQUE DES IMMERSIONS DE DEBLAIS DE DRAGAGE

Nature de l'impact

6.6 Tous les déblais de dragage, pollués ou non, ont un impact physique important au point d'immersion. Cet impact se caractérise par un recouvrement du lit de la mer (et par l'étouffement des organismes benthiques), ainsi que par une élévation localisée des teneurs en matière en suspension. L'impact physique peut être aussi dû à un déplacement vers l'avant du fait de l'action de la houle, de la marée et des courants résiduels, en particulier dans le cas des fractions fines. Dans des eaux relativement fermées, comme dans certains estuaires par exemple, la présence de sédiments consommateurs d'oxygène (par exemple organiques et riches en carbone) peut porter atteinte au régime de l'oxygène des systèmes récepteurs.

6.7 En mer ouverte, l'effet physique le plus marquant est en général le recouvrement du lit de la mer. Dans la plupart des eaux côtières, l'impact des déblais de dragage est souvent soit passager soit négligeable.

6.8 Parmi les conséquences biologiques de ces impacts physiques se trouvent l'étouffement des organismes benthiques de la zone d'immersion. Dans certaines conditions spéciales, l'immersion peut gêner la migration du poisson (c'est le cas, par exemple, de l'impact qu'a une forte turbidité sur les salmonidés des zones estuariennes) ou des crustacés (si, par exemple, le dépôt intervient sur les itinéraires de migration côtière des crabes).

6.9 L'une des conséquences importantes de la présence physique des opérations d'immersion des matériaux de dragage tient à l'atteinte portée aux activités de pêche et, dans certains cas, à la navigation et aux agréments. La première de ces atteintes est l'étouffement de zones susceptibles d'être utilisées pour la pêche ainsi que la gêne apportée aux appareils de pêche fixes; la formation de bancs à la suite des immersions peut engendrer des dangers pour la navigation, tandis que le dépôt d'argile ou de vase peut porter atteinte aux zones d'agrément. Ces problèmes sont parfois aggravés lorsque les déblais sont pollués par des débris portuaires volumineux tels que poutres en bois, ferraille, morceaux de câbles, etc.

Les stratégies de gestion

6.10 Le présent chapitre ne traite que des techniques de gestion destinées à minimiser les effets physiques de l'élimination des déblais de dragage. Les mesures de lutte contre la pollution des déblais de dragage sont abordées dans d'autres chapitres des présentes dignes directrices.

6.11 La clef de la gestion tient au choix judicieux du lieu (voir chapitre 5) ainsi qu'à l'évaluation du conflit entre les ressources et les activités en mer. Les présentes notes ont pour but de compléter ces considérations.

6.12 Dans la plupart des cas, le recouvrement d'une zone du lit de la mer est considéré comme le prix à payer sur le plan environnemental pour l'immersion en question. Pour éviter une utilisation excessive du lit de la mer, le nombre de zones doit être limité dans toute la mesure du possible, et chacune des zones doit faire l'objet d'une utilisation maximum sans pour autant porter atteinte à la navigation. Dès lors que les immersions cessent, les forces hydrodynamiques redistribuent les sédiments en fonction de la nature de ceux-ci, et la recolonisation est en général rapide. Dans certains cas même, on constate que d'anciennes zones d'immersion deviennent de nouvelles zones de pêche très productives.

6.13 Les effets peuvent être minimisés en faisant en sorte que, dans toute la mesure du possible, les sédiments contenus dans les déblais de dragage soient analogues à ceux de la zone réceptrice. Localement, l'impact biologique peut être réduit plus encore si la zone de sédimentation est naturellement sujette à un bouleversement physique. En cas d'impossibilité à cet égard, l'on envisagera, lorsqu'il s'agira de matériaux fins, un style d'immersion délibérément dispersif afin d'éviter que le recouvrement ne se fasse que sur une petite surface.

6.14 Dans le cas des dragages de grands travaux, la nature des déblais de dragage peut être différente de celle des sédiments de la zone réceptrice, et la recolonisation a des chances d'être plus lente. Notamment, en présence d'un matériau volumineux, tel que la roche et l'argile, les déblais risquent de gêner la pêche, même à long terme. Par contre, il est parfois possible d'utiliser ces matériaux pour construire des récifs artificiels destinés aux pêcheries ou aux agréments, ou pour créer un habitat; dans ce cas, les conseils des écologistes ou des biologistes spécialistes de la pêche sont essentiels.

6.15 D'autre part, le remblaiement des fosses naturelles, le recouvrement délibéré ou décharge contrôlée des dépôts de matériaux de dragage peut, dans certaines conditions, éviter de gêner la pêche ou d'autres activités légitimes.

6.16 Il se peut qu'il faille apporter des restrictions provisoires aux opérations d'immersion (par exemple, des restrictions au moment des marées, ou des restrictions saisonnières). La gêne apportée à la migration ou au frai des poissons ou des crustacés, ou à la pêche saisonnière, peut être évitée en imposant un calendrier aux opérations d'élimination. Le creusement des tranchées, ainsi que les opérations de remblaiement risquent aussi de porter atteinte aux profils migratoires, et des mesures analogues de contrôle conviennent à cet effet. Pour modérer l'impact que les immersions dans les estuaires ont sur le poisson migrateur, l'on s'est servi de tamis afin de réduire les teneurs en solides en suspension; ces tamis se sont toutefois avérés difficiles à utiliser efficacement.

6.17 Si nécessaire, les chalands chargés des éliminations devraient être équipés d'appareils de point précis. Les chalands chargés des éliminations ainsi que les opérations doivent être régulièrement contrôlés afin de s'assurer que les conditions du permis d'immersion sont bien respectées et l'équipage est conscient des responsabilités qui sont les siennes en vertu du permis. Lorsque les ordures posent problème, il est parfois nécessaire de spécifier que le chaland ou la drague soit équipé d'une grille surplombant la cale afin de faciliter leur enlèvement en vue d'une élimination (ou d'une récupération) à terre, au lieu d'une immersion en mer. Les relevés du bateau et les appareils automatiques de contrôle et d'affichage (par exemple, les boîtes noires), si le bateau en est équipé, doivent être contrôlés afin de s'assurer que l'élimination a bien lieu dans la zone d'élimination stipulée.

6.18 La surveillance continue constitue une composante fondamentale des mesures de gestion (voir Partie B).

- (b) Dans l'application de ces principes, il sera tenu compte des possibilités pratiques de recourir sur la terre ferme à d'autres méthodes de traitement, de rejet ou d'élimination, ou à des traitements réduisant la nocivité des matières avant leur immersion en mer
-

6.19 Dans le cas spécial des déblais de dragage, l'élimination en mer constitue souvent une option tolérable sur le plan de l'élimination, quoiqu'il faille saisir les occasions d'utiliser les matériaux dragués à des fins productives, par exemple afin de créer des marais, de nourrir les plages, de récupérer des terrains sur la mer, ou de transformer les matériaux en agrégats.

6.20 Pour les déblais de dragage pollués, l'on peut envisager de faire appel à des méthodes spéciales afin d'en modérer l'impact, en particulier sur le plan des apports de polluants. Dans les cas extrêmes de pollution, des méthodes de confinement sont parfois nécessaires, quoiqu'une attention toute particulière doive être apportée à l'évaluation comparative des facteurs ci-après énumérés :

- risques pour la santé de l'homme
- coûts environnementaux
- dangers (dont les accidents) associés au traitement, au transport et à l'élimination
- aspects économiques (dont le coût de l'énergie)
- exclusion des utilisations futures des zones d'élimination

au titre de chacune des options d'élimination.

6.21 Si l'analyse ci-dessus démontre que l'option élimination sur la terre ferme est plus pratique, l'on n'accordera pas de permis d'immersion en mer.

7. TECHNIQUES DE GESTION DES ELIMINATIONS

7.1 En définitive, les problèmes posés par l'élimination des déblais de dragage pollués ne peuvent être résolus efficacement qu'en luttant contre les rejets dans les eaux d'où les matériaux de dragage sont prélevés. Jusqu'à ce que cet objectif ait été atteint, et en présence d'une pollution historique, les problèmes posés par les déblais pollués peuvent être résolus en faisant appel à des techniques de gestion des éliminations.

7.2 "Les techniques de gestion des éliminations" sont constituées par des mesures et des procédés par lesquels l'impact des substances persistantes et potentiellement toxiques présentes dans les déblais peut être ramené ou maintenu à un niveau qui ne constitue pas un danger pour la santé de l'homme, ne porte pas atteinte aux ressources vivantes et à la vie marine, n'endommage pas les agréments ni ne gêne les autres utilisations légitimes de la mer. Dans ce contexte elles peuvent, dans certaines conditions, représenter des méthodes complémentaires par lesquelles les matériaux de dragage contenant des organohalogénés ou nombre d'autres substances toxiques peuvent être rendus biologiquement inoffensifs, et peuvent aussi faire l'objet d'une "attention particulière" dans l'élimination des déblais de dragage contenant des substances énumérées à l'Annexe Technique I.

7.3 Parmi les techniques appropriées, se trouvent l'utilisation des processus physiques, chimiques et biologiques naturels, ceux-ci influant sur les déblais de dragage en mer; dans le cas des matières organiques, il peut s'agir d'une dégradation et/ou d'une transformation physique, chimique ou biochimique, telle que le matériau perd sa persistance, sa toxicité et/ou sa disponibilité biologique. Au-delà des considérations des Sections B et C de l'Annexe au Protocole les techniques de gestion des éliminations peuvent englober l'enfouissement sur ou dans le lit de la mer, suivi d'un recouvrement par des sédiments propres, l'utilisation des interactions et des transformations géochimiques des substances présentes dans les déblais une fois combinées à l'eau de mer ou aux sédiments du fond, la sélection de zones spéciales telles que des zones abiotiques, ou des méthodes de confinement du matériau de manière à le stabiliser (y compris sur des îles artificielles).

7.4 Le recours à de telles techniques doit se faire en pleine conformité avec les autres considérations de l'Annexe au Protocole, comme l'évaluation comparative des autres options d'élimination, les présentes lignes directrices devant systématiquement être associées à une surveillance après l'immersion, surveillance destinée à apprécier l'efficacité de la technique ainsi que la nécessité de toute mesure de suivi dans la gestion.

PARTIE B

LA SURVEILLANCE DES OPERATIONS D'IMMERSION DES MATERIAUX DE DRAGAGE

Définition

1. Dans le contexte de l'évaluation et de la réglementation des impacts que les opérations d'élimination des matériaux de dragage ont sur l'environnement et sur la santé de l'homme, la surveillance consiste en la mesure répétée d'un polluant ou d'un effet, direct ou indirect, dans le milieu marin.

Objectifs

2. En général, les motifs de la surveillance des opérations d'élimination des matériaux de dragage sont les suivants:

- i) savoir si les conditions prévues par les permis ont, comme prévu, empêché les effets préjudiciables que les immersions devaient avoir sur la zone réceptrice;
- ii) améliorer les bases sur lesquelles les demandes de permis sont appréciées, ceci en améliorant la connaissance que l'on a des effets qu'ont sur le terrain les gros déversements que l'on ne peut estimer directement par le biais d'une évaluation en laboratoire ou grâce à la bibliographie;
- iii) fournir les preuves voulues pour démontrer que, dans le cadre du Protocole, les mesures de contrôle appliquées suffisent à faire en sorte que la capacité de dispersion et d'assimilation du milieu marin ne sont pas outrepassées et qu'elles n'entraînent donc aucun dommage pour l'environnement.

3. Les objectifs de la surveillance sont de déterminer les teneurs en polluants dans les organismes, les effets biologiques et les conséquences que l'immersion des matériaux de dragage sur le milieu marin, et, en définitive, de permettre aux responsables de lutter contre l'exposition des organismes aux matériaux de dragage et aux polluants qui leur sont associés.

Stratégie

4. Les opérations de surveillance sont coûteuses car elles exigent des ressources considérables aussi bien en mer que pour le travail ultérieur à effectuer sur les échantillons. Pour pouvoir aborder le programme de surveillance dans des conditions d'utilisation rationnelle des ressources, il est essentiel que le programme ait des objectifs clairement définis, que les dosages faits puissent satisfaire à ces objectifs, et que les résultats soient examinés à intervalles systématiques en les comparant auxdits objectifs. Le plan de surveillance devrait alors soit être poursuivi, soit revu, voire même terminé, le cas échéant.

Hypothèse d'impact

5. Pour pouvoir définir ces objectifs, il convient tout d'abord de mettre sur pied une hypothèse d'impact décrivant les effets prévus sur l'environnement physique, chimique et biologique.

6. Une hypothèse d'impact doit intégrer des informations sur les caractéristiques des matériaux de dragage ainsi que sur les conditions de la zone d'immersion envisagée. Le but est de procéder à une analyse scientifique concise des effets potentiels sur la santé de l'homme, sur les ressources vivantes, sur la vie marine, sur les agréments et autres utilisations légitimes de la mer. Elle doit englober aussi bien des échelles chronologiques que spatiales des effets potentiels.

7. L'évaluation préliminaire devrait être aussi complète que possible. Les cas principaux de l'impact potentiel devraient être définis, ces cas étant considérés comme ceux qui ont les conséquences les plus sérieuses pour la santé de l'homme et pour l'environnement. A cet égard, les modifications de l'environnement physique, les dangers pour la santé de l'homme, la dévaluation des ressources marines, et la gêne des autres utilisations légitimes de la mer, sont souvent considérés comme des priorités.

8. Les conséquences de l'immersion, telles que prévues (cibles) pourraient être décrites en termes d'habitats, de processus, d'espèces, de communautés et d'utilisations affectés par l'élimination. Le caractère réel de la modification, la réponse ou la gêne (effet) prédits pourraient alors être décrits. La cible et l'effet pourraient être décrits (quantifiés) ensemble de façon suffisamment détaillée pour qu'il n'y ait pas de doute sur les paramètres à mesurer pendant la surveillance post-opérationnelle. Dans ce dernier contexte, il pourrait être crucial de déterminer "où" et "quand" les impacts sont susceptibles d'intervenir.

9. Pour développer cette hypothèse, il peut s'avérer nécessaire de réaliser une étude de lignes de base qui fasse état non seulement des caractéristiques environnementales, mais également de la variabilité de l'environnement. Il peut aussi être utile de créer des modèles informatiques du transport des sédiments, de l'hydrodynamique et d'autres modèles, ceci afin de déterminer les effets que l'élimination est susceptible d'avoir. Ensuite, avant qu'un quelconque programme ne soit mis sur pied et qu'un quelconque dosage ne soit fait, il conviendrait de répondre aux questions suivantes :

- i) que doit-on mesurer exactement;
- ii) quel est l'objectif de la surveillance de telle variable, polluant ou effet biologique;
- iii) dans quel compartiment ou à quels emplacements les dosages et mesures sont-ils le plus efficace;
- iv) pendant combien de temps les dosages et mesures doivent-ils se poursuivre pour satisfaire à l'objectif défini à l'origine;
- v) quelle doit être l'échelle temporelle et spatiale des mesures et dosages faits afin de mettre l'hypothèse à l'épreuve.

10. Il est recommandé que le choix des polluants à contrôler dépende surtout des objectifs ultimes de la surveillance. Il est certain qu'il n'est pas nécessaire de contrôler régulièrement tous les polluants à tous les emplacements, et qu'il ne devrait pas être nécessaire de faire appel à plusieurs substrats ou effets afin de répondre à chacun des objectifs.

11. L'une des principales exigences est de mettre au point des critères décrivant les effets environnementaux spécifiques des immersions, effets dont l'apparition doit être empêchée en dehors des zones de dragage et d'élimination désignées (voir Partie A, Chapitre 2).

Surveillance

12. L'élimination des matériaux de dragage a surtout un impact sur le lit de la mer. Ainsi, bien qu'il ne faille pas écarter l'étude des effets sur la colonne d'eau aux stades précoces du planning de surveillance, il est souvent possible en revanche de confiner au lit de la mer la surveillance ultérieure.

13. Si l'on considère que les effets sont en grande partie de caractère physique, la surveillance peut être fondée sur des méthodes télémétriques, telles qu'un sonar à balayage latéral, ceci de manière à déceler les modifications de nature du lit de la mer, et telles que des techniques bathymétriques (par exemple, l'échosondage) de manière à identifier les zones où le matériau de dragage s'accumule. Ces deux techniques exigent que l'on prélève quelques échantillons de sédiments afin de connaître la réalité sur le terrain. De plus, un balayage multispectral peut être utilisé afin de contrôler la dispersion de la matière en suspension (panaches, etc.).

14. Des traceurs sont aussi susceptibles de s'avérer utiles afin de repérer la dispersion du matériau de dragage et d'évaluer toute accumulation mineure de matériau qui n'aurait pas été décelée par les études bathymétriques.

15. Lorsque l'on dispose un matériau de dragage pollué, il se peut qu'il soit nécessaire de doser ses composants chimiques afin de s'assurer qu'aucune accumulation intolérable de ces composants ne se produise.

16. Lorsqu'il est probable que des phénomènes physiques ou chimiques se produiront sur le lit de la mer, il est alors nécessaire d'étudier la structure de la communauté benthique dans les zones où le matériau de dragage se disperse. Dans le cas des effets chimiques, il peut aussi être nécessaire d'étudier la qualité chimique de la biote (dont le poisson).

17. Pour pouvoir évaluer l'impact, il convient de comparer la qualité physique, chimique ou biologique des zones touchées par rapport à des zones de référence situées à l'écart des voies d'élimination des matériaux de dragage. Ces zones peuvent être définies aux stades précoces de l'évaluation d'impact.

18. La détermination de la portée spatiale de l'échantillonnage doit tenir compte de la dimension de la zone désignée pour l'immersion, de toutes zones éventuelles de déversement imprévu, de la mobilité du matériau de dragage immergé et des mouvements de l'eau qui déterminent l'orientation et l'ampleur du transport des sédiments. Il se peut qu'il soit possible de limiter l'échantillonnage à la zone d'immersion elle-même si l'on considère que les effets qui se produisent dans cette zone sont acceptables, et qu'il ne soit pas nécessaire de les définir en détail. Toutefois, un échantillonnage devrait être fait afin de faciliter la définition du type d'effet susceptible d'intervenir dans d'autres zones, ainsi qu'à des fins de rigueur scientifique.

19. La fréquence de l'enquête dépend d'un certain nombre de facteurs. Lorsqu'une activité d'élimination a commencé plusieurs années auparavant, il se peut qu'il soit possible de définir l'effet dans des conditions constantes d'apport, les études ne devant alors être répétées que si des modifications sont apportées à l'opération (quantité ou type de matériau de dragage déposé, méthode d'élimination, etc.)

20. S'il est décidé de surveiller la récupération d'une zone qui n'est plus utilisée afin d'y éliminer des matériaux de dragage, il se peut que des dosages plus fréquents soient nécessaires.

21. Etant donné que les effets de l'élimination des matériaux de dragage ont des chances d'être similaires dans de nombreuses zones, il semble qu'il ne soit guère justifié de surveiller toutes les zones, en particulier celles qui ne reçoivent que de petites quantités de matériaux de dragage. Il serait plus efficace de procéder à des enquêtes plus détaillées sur quelques zones bien choisies (par exemple, celles sujettes à de gros apports de matériaux de dragage), ceci de manière à accroître la compréhension que l'on a des effets et des processus.

22. L'on mettra sur pied de brefs rapports sur les activités de surveillance, rapports qui donneront le détail des dosages effectués, des résultats obtenus, ainsi que du rapport entre ces données et les objectifs de la surveillance. La fréquence des rapports dépendra de l'ampleur de l'opération d'élimination et de l'intensité des contrôles exercés. Les Parties contractantes renseigneront le Secrétariat sur leurs activités de surveillance, et soumettront les rapports au fur et à mesure qu'ils sortiront.

SUPPLEMENTS TECHNIQUES AUX LIGNES DIRECTRICES SUR LA GESTION DES MATERIAUX DE DRAGAGE

ANNEXE TECHNIQUE 1

Analyses nécessaires à l'évaluation des matériaux de dragage

1. La présente Annexe amplifie les exigences analytiques visées aux paragraphes 4.9 à 4.12 des Lignes directrices sur la gestion des matériaux de dragage.
2. Une stratégie d'analyse par phases est recommandée. A chacune des phases, il sera nécessaire de déterminer si l'on dispose d'un volume d'informations suffisant pour pouvoir prendre une décision de gestion, ou si d'autres analyses sont nécessaires.
3. A titre de préliminaire au plan d'analyse par phases, les renseignements requis par la section 3.1 des lignes directrices devront être disponibles. En l'absence de sources appréciables de pollution, et si la détermination visuelle des caractéristiques des sédiments conduit à conclure que les matériaux de dragage répondent à l'un des critères d'exception visés au paragraphe 3.3 des lignes directrices, les matériaux ne nécessiteront aucune autre analyse.
4. Les phases se présentent comme suit:
 - évaluation des propriétés physiques
 - évaluation des propriétés chimiques
 - évaluation des propriétés et effets biologiques

Une série de renseignements complémentaires, déterminés par les conditions locales, pourra éventuellement venir étoffer chacune des phases.

5. Il est important qu'à chacun des stades, la procédure d'évaluation tienne compte de la méthode d'analyse.

Phase I: PROPRIETES PHYSIQUES

Il est vivement recommandé de procéder aux déterminations suivantes:

- granulométrie (% sable, limon, argile)
- pourcentage de solides (matières sèches)
- densité/gravité spécifique
- matière organique (comme carbone organique total)

Phase II: PROPRIETES CHIMIQUES

Paramètres du groupe primaire:

Dans tous les cas où une analyse chimique est exigée, le dosage des métaux en traces suivants devra être précisé:

| | | | |
|--------------|-------------|--------------|-----------|
| Cadmium (Cd) | Cuivre (Cu) | Mercure (Hg) | Zinc (Zn) |
| Chrome (Cr) | Plomb (Pb) | Nickel (Ni) | |

De plus, l'on procédera à une estimation de la teneur en polychlorobiphényles (PCB) en se basant sur les congénères des chlorobiphényles ci-après:

IUPAC N° 28, 52, 101, 118, 153, 138 et 180

Une analyse de l'ensemble du sédiment (<2 mm) est exigée.

Le dosage des PCB ne sera pas nécessaire dans les cas suivants:

- s'il n'y a pas de renseignements sur les sources (ponctuelles ou diffuses) de contamination ou les apports historiques;
- les sédiments sont essentiellement grossiers; et
- les teneurs en matière organique sont faibles.

Paramètres du groupe secondaire:

Compte tenu des renseignements locaux sur les sources de pollution (sources ponctuelles ou sources diffuses) ou des apports historiques, il se peut que d'autres paramètres soient applicables, comme par exemple:

arsenic; autres chlorobiphényles (IUPAC Nos 18, 31, 44, 66/95, 110, 149, 187 et 170); pesticides organophosphores; hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP); hydrocarbures; pesticides organochlorés; composés tri-organostanniques; dibenzodioxines polychlorées (PCDD)/dibenzofuranes polychlorés (PCDF).

Phase III: PROPRIETES ET EFFETS BIOLOGIQUES

A ce stade, aucune orientation n'est donnée dans ce domaine.

RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

Les renseignements complémentaires éventuellement nécessaires seront déterminés par les conditions locales, ceux-ci pouvant constituer une partie essentielle de la décision de gestion. Les données correspondantes pourraient par exemple être: le potentiel rédox, la demande en oxygène des sédiments, l'azote total, le phosphore total, le fer, le manganèse, l'information minéralogique ou des paramètres de normalisation des données des métaux en traces (par exemple aluminium, lithium, scandium - voir Annexe technique 2).

ANNEXE TECHNIQUE 2

Techniques de normalisation de la distribution spatiale des polluants*

1. Introduction

Dans la présente discussion, la normalisation est définie comme une procédure destinée à compenser l'influence que les processus naturels ont sur la variabilité mesurée de la teneur des polluants dans les sédiments. Pour la plupart, les polluants (métaux, pesticides, hydrocarbures) ont une forte affinité avec la matière particulière et, en conséquence, ils s'enrichissent dans les sédiments du fond des estuaires et des zones côtières. Dans la pratique, les substances naturelles et anthropogènes qui pénètrent dans le système marin sont soumises à toute une série de processus biogéochimiques. Le résultat est qu'elles s'associent à des solides en suspension à granulométrie fine, ainsi qu'à des particules organiques et inorganiques colloïdales. Le sort ultime de ces substances est dans une large mesure déterminé par la dynamique des particules. Elles ont par conséquent tendance à s'accumuler dans les zones à faible énergie hydrodynamique, où le matériau fin se dépose de préférence. Dans les zones à forte énergie, ces substances sont "diluées" par les sédiments grossiers d'origine naturelle et d'une faible teneur en polluants.

Il est bien évident que la granulométrie est l'un des facteurs les plus importants qui régulent la distribution des composants naturels et anthropogènes dans les sédiments. Il est par conséquent nécessaire de procéder à une normalisation au titre des effets de la granulométrie, ceci de façon à disposer d'une base permettant des comparaisons significatives de la présence de substances dans des sédiments présentant des différences de granulométrie et de texture à l'intérieur d'une même zone ou d'une zone à une autre. Les teneurs excédentaires, supérieures aux valeurs ambiantes normalisées, permettraient alors de définir la qualité des sédiments.

Dans toute étude des sédiments, un volume d'informations de base sur leurs caractéristiques physiques et chimiques est nécessaire avant que l'on puisse évaluer la présence ou l'absence de teneurs anormales en polluants. La concentration à partir de quoi une pollution peut être décelée dépend de la stratégie d'échantillonnage et du nombre de variables physiques et chimiques que l'on détermine sur chacun des échantillons.

Les diverses approches granulométriques et géochimiques mises en oeuvre dans le contexte de la normalisation des données sur les éléments en traces ainsi que l'identification des sédiments pollués dans les zones estuariennes et côtières, ont été étudiées de manière approfondie par Loring (1988). L'on a choisi dans le cas présent deux stratégies de normalisation, largement appliquées dans les sciences océanographiques et atmosphériques. La première est purement physique, et consiste en une caractérisation du sédiment par la mesure de sa teneur en matériaux fins. La deuxième approche est de caractère chimique, et se fonde sur le fait que la fraction fine est habituellement riche en minéraux argileux, en oxyhydroxydes de fer et de manganèse, et en matière organique. De plus, ces composants présentent souvent une forte affinité avec des polluants organiques et inorganiques, et sont responsables de leur enrichissement dans la fraction fine. Des paramètres chimiques (par exemple, Al, Sc, Li) représentatifs de ces composants, peuvent ainsi être utilisés afin de caractériser la fraction fine à l'état naturel.

* Extrait de 1989 ACMP Report (Section 14) ICES Coop.Res.Rep.167, pp 68-76

Il est vivement conseillé de faire appel à plusieurs paramètres pour évaluer la qualité des sédiments. Les types d'information pouvant être obtenus par l'emploi de ces divers paramètres sont souvent complémentaires et extrêmement utiles compte tenu de la complexité et de la diversité des situations qui se présentent dans le compartiment sédimentaire. De plus, les dosages et les mesures des paramètres de normalisation, tels que choisis ici, sont assez simples et peu coûteux.

Le présent rapport contient des lignes directrices générales sur la préparation des échantillons, les méthodes d'analyse, ainsi que sur l'interprétation des paramètres physiques et chimiques appliqués dans la normalisation des données géochimiques. Son but est de montrer comment recueillir suffisamment de données pour normaliser au titre de l'effet granulométrique et d'autoriser la détection, à divers niveaux, des teneurs anormales en polluants dans les sédiments estuariens et côtiers.

2. Stratégie d'échantillonnage

L'idéal est que la stratégie d'échantillonnage soit fondée sur une connaissance de la source des polluants, des voies de transport de la matière en suspension et des taux d'accumulation des sédiments dans la région en question. Toutefois, les données en possession sont souvent trop restreintes pour pouvoir définir un plan d'échantillonnage idéal. Puisque les polluants se concentrent surtout dans la fraction fine, la priorité dans l'échantillonnage doit être accordée aux zones qui contiennent de la matière fine correspondant en général à des zones de retombée.

La forte variabilité des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sédiments implique qu'une évaluation de la qualité des sédiments dans une zone donnée doit obligatoirement être fondée sur un nombre suffisant d'échantillons. Ce nombre peut être évalué par une analyse statistique appropriée de la variance à l'intérieur de l'échantillon ainsi qu'entre les échantillons. Pour tester la représentativité d'un spécimen d'échantillon unique en un emplacement donné, l'on est amené à prélever plusieurs échantillons à une ou deux stations.

La méthodologie d'échantillonnage et d'analyse devrait respecter les recommandations esquissées dans les "Lignes directrices relatives à l'utilisation des sédiments comme outil de surveillance des polluants dans le milieu marin" (Guidelines for the Use of Sediments as a Monitoring Tool for Contaminants in the Marine Environment) (CIEM, 1987). Dans la plupart des cas, la strate supérieure des sédiments, recueillie à l'aide d'un godet d'échantillonnage à fermeture hermétique (niveau 1 dans les lignes directrices), donne suffisamment de renseignements sur la pollution des sédiments dans une zone donnée par rapport aux sédiments des emplacements non pollués ou d'autres matériaux de référence.

Un autre avantage important que présente l'utilisation des sédiments comme outil de surveillance est qu'ils constituent les archives de l'évolution historique de la composition de la matière en suspension qui s'est déposée dans la zone en question. Dans des conditions favorables, il est possible d'estimer le degré de la pollution en comparant les sédiments superficiels aux sédiments plus profonds, prélevés au-dessous de la zone de mixage biologique. Les teneurs en éléments en traces dans les sédiments profonds sont susceptibles de représenter la teneur ambiante naturelle dans la zone en question, et peuvent être définies comme des valeurs de base. Cette approche exige que l'échantillonnage soit fait à l'aide d'un carottier ou d'un carottier à gravité (niveaux 2 et 3 des lignes directrices).

3. Méthodes d'analyse

Le Tableau 1 esquisse les méthodes d'analyse typiques qu'il convient d'adopter. Le nombre de stades sélectionnés dépend de la nature et de l'ampleur de l'étude.

3.1 Fractionnement granulométriques

Il est recommandé qu'au moins la quantité de matériau à granulométrie inférieure à 63 Fm, ce qui correspond au seuil de la classification sable/limon, soit déterminée. Le tamisage de l'échantillon à 63 Fm ne suffit toutefois souvent pas, surtout lorsque les sédiments sont pour l'essentiel constitués par une fraction fine. Dans de tels cas, il vaut mieux normaliser sur des seuils granulométriques moindres, ceci puisque les polluants sont surtout concentrés dans la fraction < 20 Fm, et même plus spécifiquement dans la fraction argileuse (<2 Fm). Il est par conséquent proposé que l'on détermine, sur un sous-échantillon, la fraction granulométrique < 20 Fm ainsi que celle de < 2 Fm, ceci à l'aide d'une pipette de sédimentation ou par élutriation. Plusieurs laboratoires donnent déjà les résultats qu'ils obtiennent pour les teneurs des fractions fines de diverses granulométries, et ces résultats seront peut-être utiles pour pouvoir comparer les zones.

3.2 Analyse des polluants

Il est essentiel, si le but de l'étude est d'évaluer la qualité, d'analyser la teneur totale en polluants dans les sédiments, et il est donc recommandé d'analyser intégralement le sédiment non fractionné (< 2 mm). La teneur totale en éléments peut être déterminée soit par des méthodes non destructives, telles que la fluorescence aux rayons X ou l'activation neutronique, soit par une digestion complète des sédiments (impliquant l'emploi d'acide fluorhydrique (HF), suivie par des méthodes telles que la spectrophotométrie d'absorption atomique ou la spectroscopie d'émission. De la même manière, les polluants organiques doivent être extraits du sédiment total avec un solvant organique approprié.

Si nécessaire, une fraction granulométrique donnée du sédiment total peut être utilisée dans l'analyse ultérieure, afin de déterminer les teneurs absolues en polluants dans cette fraction, sous réserve que sa contribution au total soit maintenue en perspective lorsque l'on interprète les données. Un tel renseignement sur la fraction granulométrique est susceptible d'être utile lorsque l'on cherche à retracer la dispersion régionale des métaux associés à des fractions granulométriques précises, et que la provenance du matériau reste la même. Toutefois, le fractionnement des échantillons est une procédure fastidieuse, où il y a un risque considérable de pollution, et qui peut entraîner des pertes de polluants par lessivage. Par conséquent, l'applicabilité de cette méthode est limitée.

4. Méthodes de normalisation

4.1 Normalisation granulométrique

Etant donné que les polluants tendent à se concentrer dans la fraction fine des sédiments, les corrélations entre les teneurs totales en polluants et le pourcentage du poids de la fraction fine, déterminées séparément sur un sous-échantillon du sédiment, soit par tamisage, soit par sédimentation par gravité, constituent une méthode de normalisation à la fois simple et puissante. L'on constate souvent des relations linéaires entre la teneur et le pourcentage du poids de la fraction fine, et il est alors possible d'extrapoler les relations aux 100% de la fraction étudiée, ou de caractériser la dépendance par rapport à la granulométrie, ceci suivant la pente de la courbe de régression.

4.2 Normalisation géochimique

La normalisation granulométrique ne suffit pas à expliquer la variabilité naturelle des éléments en traces dans les sédiments. Pour pouvoir mieux interpréter la variabilité de la composition des sédiments, il est également nécessaire de s'efforcer de distinguer les composants sédimentaires avec lesquels les polluants sont associés sur l'ensemble du spectre granulométrique. Puisqu'il est extrêmement difficile de séparer et de doser effectivement chacun des composants des sédiments, de telles associations doivent reposer sur des preuves indirectes de ces rapports.

Etant donné que les polluants sont surtout associés aux minéraux argileux, aux oxy-hydroxydes de fer et de manganèse et à la matière organique, lesquels abondent dans la fraction fine des sédiments, de plus amples renseignements peuvent être obtenus en mesurant les teneurs des éléments représentatifs de ces composants dans les échantillons.

Un élément inerte tel que l'aluminium, constituant majeur des minéraux argileux, peut être choisi comme indicateur de ladite fraction. Les teneurs normalisées des éléments en traces, par rapport à l'aluminium, permettent en général de caractériser divers matériaux particulières sédimentaires (voir ci-après). Il peut être considéré comme un élément majeur de type stable, non affecté dans de fortes proportions par, par exemple, les processus diagénétiques précoces ainsi que par les puissants effets du potentiel redox observés dans les sédiments.

Dans le cas des sédiments issus de l'érosion glaciaire de roches ignées, l'on a constaté que les rapports polluant/Al ne conviennent pas à la normalisation de la variabilité granulaire (Loring, 1988). En revanche, le lithium semble être dans ce cas un élément idéal pour normaliser l'effet granulométrique, et il a l'avantage, de plus, d'être tout aussi applicable aux sédiments non glaciaires.

Hormis les minéraux argileux, les composés de Mn et de Fe sont souvent présents dans la fraction fine, où ils présentent des propriétés d'adsorption fortement favorables à l'intégration de divers polluants. Mn et Fe s'analysent sans difficulté par spectrométrie d'adsorption atomique à la flamme, et leur dosage permet parfois d'obtenir une vue approfondie du comportement des polluants.

La matière organique joue aussi un rôle important dans le prélèvement des polluants, et contrôle, dans une vaste mesure, les caractéristiques de redox de l'environnement sédimentaire.

Enfin, la teneur en carbonate des sédiments est facile à déterminer, et constitue une source complémentaire d'information sur l'origine et sur les caractéristiques géochimiques des sédiments. En général, les carbonates ne contiennent que des quantités insignifiantes de métaux en traces, et jouent surtout le rôle de diluants. Dans certains cas toutefois, les carbonates peuvent fixer des polluants tels que le cadmium et le cuivre. On trouvera au Tableau 2 le résumé des facteurs de normalisation.

4.3 Interprétation des données

Dans la normalisation géochimique des substances présentes dans les sédiments, le plus simple est d'exprimer le ratio de la teneur d'une substance donnée par rapport à celle du facteur normalisant.

Sur le plan de l'aluminium (ou du scandium), l'on a largement fait appel à la normalisation de la teneur des éléments en traces, et à l'échelle globale, l'on a établi des valeurs de référence des éléments en traces dans divers compartiments: roches de la croûte, sols, particules atmosphériques, matériaux charriés par les fleuves, argiles marines et matières en suspension dans l'eau de mer (cf, par exemple, Martin et Whitfield, 1983; Buat-Menard et Chesselet, 1979).

Cette normalisation permet aussi de définir le facteur d'enrichissement d'un élément donné dans tel ou tel compartiment. Le niveau de référence de composition le plus communément utilisé est l'abondance moyenne globale normalisée de l'élément dans la roche de la croûte (valeur de Clarke). Le facteur d'enrichissement EF est donné par la formule suivante:

$$EF_{\text{croûte}} = (X/Al)_{\text{sédiment}} / (X/Al)_{\text{croûte}}$$

dans laquelle X/Al est le ratio entre la teneur de l'élément X et celle de Al dans le compartiment en question.

Toutefois, l'on peut améliorer les estimations du degré de pollution et les tendances chronologiques de la pollution en tout point d'échantillonnage en procédant à une comparaison avec les teneurs en métaux dans des sédiments équivalents de par leur nature et de par leur texture.

Ces valeurs peuvent être comparées aux valeurs normalisées obtenues pour les sédiments dans une zone donnée. Les gros écarts par rapport à ces valeurs moyennes indiquent soit une pollution des sédiments, soit des anomalies locales de la minéralisation.

Lorsque l'on fait appel à d'autres variables (Fe, Mn, matière organique et carbonates) pour caractériser les sédiments, une analyse de régression des teneurs en polluants donne souvent, avec ces paramètres, des renseignements utiles sur la source de la pollution ainsi que sur la phase minéralogique associée au polluant.

L'on a souvent observé qu'il existait une relation linéaire entre la teneur des constituants en traces et celle du facteur de normalisation (Windom et al., 1989). Dans ce cas, et si la population géochimique naturelle d'un élément donné, par rapport au facteur de normalisation, peut être déterminée, l'on peut déceler aisément les échantillons présentant des teneurs normalisées anormales, ce qui peut être l'indice d'apports anthropogènes.

Suivant cette méthode, la pente de l'équation de régression linéaire peut être utilisée afin de distinguer le degré de la pollution des sédiments d'une zone donnée. Cette méthode peut aussi être employée afin de mettre en évidence la modification de la charge en polluants d'une zone si la méthode est appliquée à des échantillons prélevés à intervalles de quelques années (Cato, 1986).

Une étude multi-éléments/composants, dans le cadre de laquelle l'on aura mesuré les principaux métaux et les métaux en traces, parallèlement à la granulométrie et à la teneur en carbone organique, permet de définir les interrelations entre les variables, ceci sous la forme d'une matrice de corrélation. A partir d'une telle matrice, le ratio le plus significatif entre métal en traces et paramètre(s) pertinent(s) peut être déterminé et utilisé afin d'identifier les vecteurs de métaux, ainsi qu'afin de normaliser et de déceler les anomalies des teneurs des métaux en traces. Les analyses des facteurs permettent de trier les variables en groupes (facteurs), groupes qui constituent des associations de variables fortement corrélées, de telle sorte que l'on

peut déduire de la série de données les facteurs spécifiques et/ou non spécifiques texturels, minéralogiques et chimiques qui déterminent la variabilité des métaux en traces.

Les teneurs ambiantes naturelles peuvent aussi être évaluées à l'échelle locale en étudiant la distribution verticale des composants en question dans la colonne sédimentaire. Toutefois, cette approche exige que plusieurs conditions favorables soient satisfaites: composition stable des sédiments naturels non pollués; connaissance des processus de mixage physiques et biologiques à l'intérieur des sédiments; absence de processus diagénétiques influant sur la distribution verticale du composant en question. Dans de tels cas, la normalisation granulométrique et géochimique permet de compenser la variabilité locale et chronologique des processus de sédimentation.

5. Conclusion

Les mesures de la granulométrie et des ratios des composants/éléments de référence constituent des stratégies utiles à une normalisation complète des variations granulaires et minéralogiques, ainsi qu'à l'identification des teneurs anormales en polluants dans les sédiments. Leur utilisation exige que l'on recueille un gros volume de données analytiques de bonne qualité, et que des conditions géochimiques spécifiques soient satisfaites avant que l'on puisse tenir compte de la totalité de la variabilité naturelle, et que l'on puisse déceler les teneurs anormales en polluants. Toutefois, les anomalies des teneurs en métaux ne sont pas toujours attribuables à la pollution, puisqu'elles peuvent facilement résulter des différences d'origine des sédiments.

Les études géochimiques impliquant la détermination des principaux métaux et des métaux en traces, des polluants organiques, des paramètres granulométriques, de la matière organique, du carbonate, et de la composition minéralogique des sédiments, conviennent mieux à la détermination des facteurs qui contrôlent la distribution du polluant, que ce n'est le cas de la mesure des teneurs absolues dans des fractions granulométriques spécifiques, ou de l'utilisation des seuls ratios entre polluant potentiel/métal de référence. Elles conviennent donc mieux à la distinction entre sédiments non pollués et sédiments pollués. Ceci est dû au fait que ces études permettent de définir les facteurs qui contrôlent la variabilité des teneurs en polluants dans les sédiments.

Bibliographie

- Buat-Menard, P. et Chesselet, R., 1979. Variable influence of atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter (L'influence variable du flux atmosphérique sur la chimie des métaux en traces de la matière en suspension dans les océans). *Earth Planet. Sc. Lett.* 42: 399-411
- Cato, I., Mattsson, J. et Lindskog, A., 1986. Tungmetaller och petrogena kolväten i Brofjordens bottensediment 1984, samt förändringar efter 1972. / Heavy metals and petrogenic hydrocarbons in the sediments of Brofjorden in 1984, and changes after 1972 / University of Göteborg, Dep. of Marine Geology, Report No. 3, 95 pp (English summary) (Métaux lourds et hydrocarbures pétrogènes dans les sédiments du Borfjorden en 1984, et modifications intervenues après 1972./ Université de Göteborg, Département de Géologie Marine, Rapport N°3, 95 pp. (résumé en anglais).
- CIEM, 1987. Report of the Advisory Committee on Marine Pollution, 1986. ICES Coop. Res. Rep. No. 142, pp.72-75 (Rapport 1986 du Comité consultatif du CIEM sur la pollution marine. Rapport de recherche en coopération CIEM No. 142, pp. 72-75)
- Loring, D.H., 1988. Normalization of trace metal data. Report of the ICES Working Group on Marine Sediments in Relation to Pollution. (La normalisation des données sur les métaux en traces. Rapport du Groupe de travail CIEM sur les sédiments marins par rapport à la pollution). CIEM, Doc. C.M. 1988/E: 25, Annexe 3.
- Martin, J.M. et Whitfield, M., 1983. River input of chemical elements to the ocean (Apports fluviaux d'éléments chimiques à l'océan). In: Trace Metals in Sea-Water. C.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton et E.D. Goldberg, Eds. Plenum Press, New York et Londres. pp. 265-296
- Windom, H.L., Schropp, S.J., Calder, F.D., Ryan, J.D., Smith Jr., R.G., Burney, L.C., Lewis, F.G. and Rawlinson, C.H., 1989. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United States (Les teneurs naturelles en métaux en traces dans les sédiments estuariens, côtiers et marins du sud-est des Etats-Unis). *Environ. Sci. Tech.* 23: 314-320.

Tableau 1: Stratégie typique de détermination des paramètres physiques et chimiques des sédiments marins

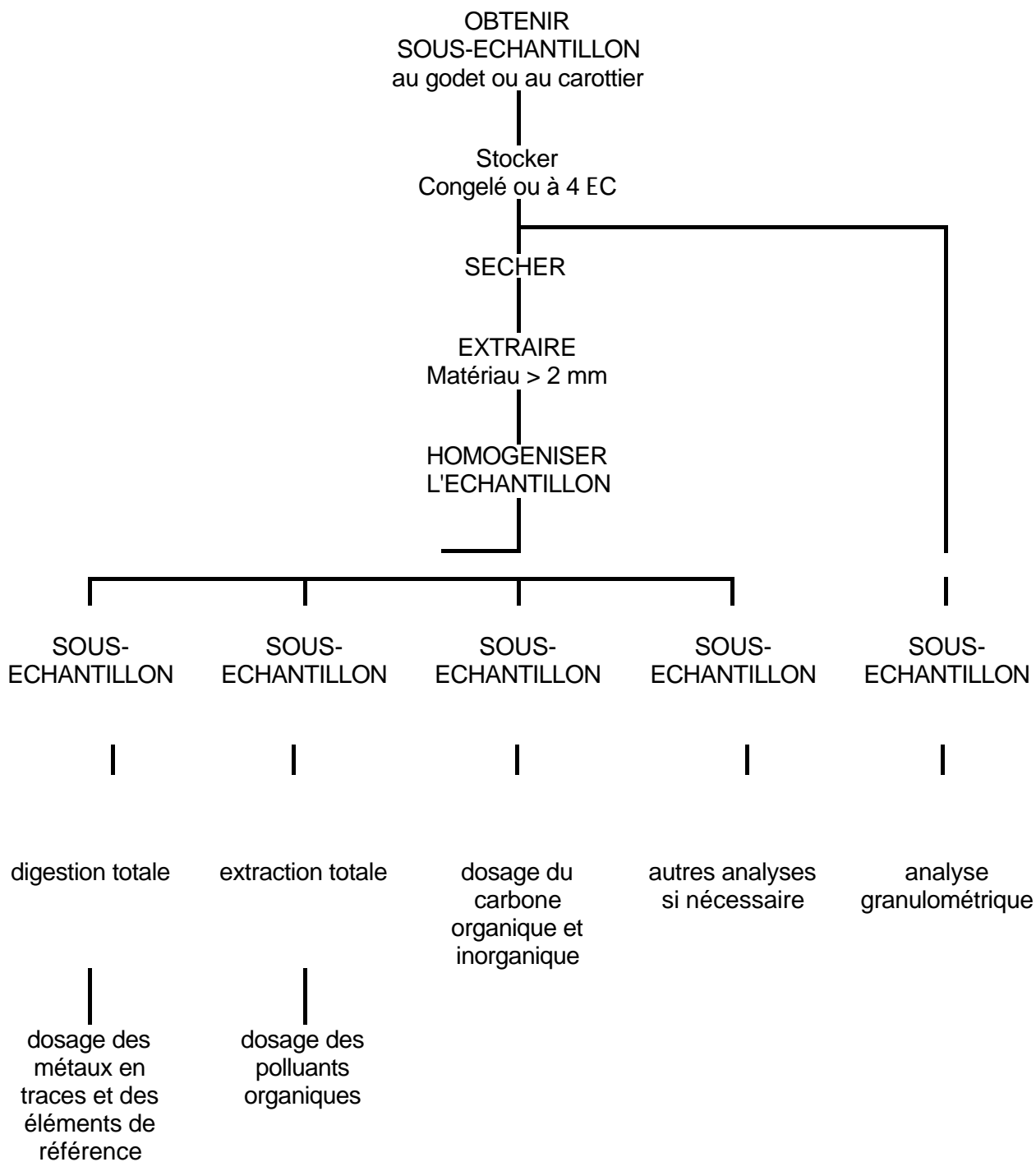


Tableau 2: Résumé des facteurs de normalisation

| FACTEUR DE NORMALISATION | GRANULO-METRIE (Fm) | INDICATEUR | ROLE |
|--------------------------|---------------------|--|--|
| <u>Texture</u> | | | |
| | | | Détermine la distribution physique et le profil de sédimentation des métaux |
| Sables | 2000 à 63 | Minéraux/composés grossiers pauvres en métaux | Diluent en général les teneurs en métaux-trace |
| Fines | < 63 | Minéraux/composés vecteurs de métaux, granulométrie limon/argile | En général concentrateurs globaux de métaux-trace |
| Argiles | < 2 | Minéraux argileux riches en métaux | Matériaux à granulométrie fine, en général accumulateurs de métaux en traces |
| <u>Chimique</u> | | | |
| Si | | Quantité et distribution du quartz pauvre en métaux | Matériau grossier, dilueur de polluants |
| Al | | Silicates de Al, mais utilisés pour tenir compte des variations granulométriques de silicates de Al riches en métaux, granulométrie limon/argile | Traceur chimique de silicates de Al, en particulier les minéraux argileux |
| Li, Sc | | Structurellement combinés dans les minéraux argileux et dans les micas | Traceurs de minéraux argileux, en particulier les sédiments contenant des silicates de Al dans toutes les fractions granulométriques |
| Carbone organique | | Matière organique à grains fins | Traceur de polluants organiques. Parfois accumulateur de métaux en traces comme Hg et Cd |
| Fe, Mn | | Minéraux argileux vecteurs de Fe, riches en métaux, granulométrie limon/argine, minéraux lourds riches en Fe et oxydes hydriques de Fe et Mn | Traceur chimique de la fraction argileuse riche en Fe. Force capacité d'adsorption de polluants organiques et inorganiques |
| Carbonates | | Sédiments marins biogéniques | Dilueur de polluants. Accumule parfois des métaux en traces comme Cd et Cu. |