



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



UNEP(OCA)/MED IG.12/4
7 octobre 1999

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANÉE

Onzième réunion ordinaire des Parties contractantes
à la Convention pour la protection de la mer
Méditerranée contre la pollution et à ses protocoles

Malte, 27-30 octobre 1999

**LIGNES DIRECTRICES POUR LA GESTION DES MATÉRIAUX
DE DRAGAGE**

La réunion conjointe du Comité scientifique et du Comité socio-économique, tenue à Athènes du 3 au 7 mai 1993, avait demandé au Secrétariat d'élaborer des lignes directrices en référence à la section B de l'annexe I du Protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs, adopté en 1976 (ci-après dénommé "le Protocole "immersions""). Par la suite, le texte modifié du Protocole "immersions", adopté par les Parties en juin 1999, a prescrit d'élaborer et adopter des lignes directrices pour l'immersion de matériaux de dragage (article 6).

Une première réunion d'experts désignés par les gouvernements sur l'élaboration de lignes directrices pour la gestion des matériaux de dragage, bénéficiant du concours du gouvernement espagnol, s'est tenue à Valence (Espagne), du 20 au 22 mai 1996, afin d'examiner un avant-projet de lignes directrices établies par le Secrétariat. La réunion s'est penchée sur le texte du projet et a demandé au Secrétariat de le remanier à la lumière des débats qu'elle venait de mener.

Une deuxième réunion, accueillie par le gouvernement maltais, s'est tenue à Sliema (Malte), du 30 novembre au 2 décembre 1998, avec l'appui financier de la Commission européenne (UNEP(OCA)/MED WG.149/4). La réunion a revu le nouveau projet de lignes directrices établi par le Secrétariat et elle est convenue d'un texte qui serait transmis, pour approbation, à la réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL, et ensuite, pour adoption, à la réunion des Parties contractantes.

Le présent document contient le texte des Lignes directrices, tel qu'il a été soumis à la réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL, avec un certain nombre de modifications, indiquées entre parenthèses, qui ont été adressées au Secrétariat par les coordonnateurs après leur réunion (Reggio de Calabre, 20-23 juin 1999). Le texte est maintenant soumis aux Parties contractantes pour analyse et adoption.

TABLE DES MATIÈRES

Préface

Introduction

- I. EXIGENCES DU PROTOCOLE SUR LES IMMERSIONS**
- II. CONDITIONS DANS LESQUELLES LES PERMIS D'IMMERSION DE MATÉRIAUX DE DRAGAGE PEUVENT ÊTRE DÉLIVRÉS**

PARTIE A

ÉVALUATION ET GESTION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

- 1. Caractérisation des matériaux de dragage**
- 2. Élimination des déblais de dragage**
- 3. Processus de prise de décisions**
- 4. Appréciation des caractéristiques et de la composition des matériaux de dragage**
 - Caractérisation physique
 - Caractérisation chimique et biologique
 - Exemptions
- 5. Lignes directrices sur l'échantillonnage et l'analyse des matériaux de dragage**
 - Echantillonnage aux fins de la délivrance d'un permis d'immersion.
 - Echantillonnage dans le cas du renouvellement d'un permis d'immersion
 - Communication des données sur les apports
 - Paramètres et méthodes
- 6. Caractérisation du site d'immersion et méthode de dépôt**
- 7. Considérations et conditions générales**
 - 7.1. Nature, prévention et minimisation de l'impact de l'élimination des matériaux de dragage
 - Impact physique
 - Impact chimique
 - Impact bactériologique
 - Impact biologique
 - Impact économique
 - 7.2. Stratégies de gestion
- 8. Techniques de gestion des éliminations**
- 9. Permis**
- 10. Rapports**

PARTIE B

SURVEILLANCE DES OPÉRATIONS D'IMMERSION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

- 1. Définition**
- 2. Motivations**
- 3. Objectifs**
- 4. Stratégie**
- 5. Hypothèse d'impact**
- 6. Evaluation préliminaire**
- 7. Etat de référence**
- 8. Vérification de l'hypothèse d'impact: conception du programme de surveillance**
- 9. Surveillance**
- 10. Notification**
- 11. Rétroaction**

SUPPLÉMENTS TECHNIQUES AUX LIGNES DIRECTRICES POUR LA GESTION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

ANNEXE TECHNIQUE 1 ANALYSES NÉCESSAIRES À L'ÉVALUATION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

Palier I: Propriétés physiques

Palier II: Propriétés chimiques

1. Paramètres du groupe primaire
2. Paramètres du groupe secondaire

Palier III: Propriétés et effets biologiques

1. Analyses biologiques de la toxicité
2. Traceurs biologiques
3. Expériences sur le microcosme
4. Expériences sur le mésocosme
5. Observation des communautés benthiques sur le terrain
6. Autres propriétés biologiques

Renseignements complémentaires

ANNEXE TECHNIQUE 2 TECHNIQUES DE NORMALISATION DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES POLLUANTS

1. Introduction
2. Stratégie d'échantillonnage
3. Procédures d'analyse
 - 3.1 Fractions granulométriques
 - 3.2 Analyse des polluants
4. Procédures de normalisation
 - 4.1 Normalisation granulométrique
 - 4.2 Normalisation géochimique
 - 4.3 Interprétation des données
5. Conclusions

Bibliographie

ANNEXE TECHNIQUE 3 CONSIDÉRATIONS AVANT TOUTE OPÉRATION DE DÉLIVRANCE D'UN PERMIS D'IMMERSION

ANNEXE TECHNIQUE 4 MEILLEURE PRATIQUE ENVIRONNEMENTALE EN MATIÈRE DE DRAGAGES (MPE)

FIGURES ET TABLEAUX

- Figure 1 : Cadre indicatif pour l'évaluation des matériaux de dragage
- Figure 2 : Stratégie typique de détermination des paramètres physiques et chimiques des sédiments marins
- Tableau 1 : Résumé des facteurs de normalisation

Préface

Les présentes lignes directrices sont destinées à aider les Parties contractantes dans la mise en oeuvre du Protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs ou d'incinération en mer, ci-après dénommé "le Protocole", en ce qui concerne la gestion des matériaux de dragage; le Protocole a été signé par 16 Parties contractantes en 1995, mais il n'est pas encore entré en vigueur.

Certains aspects des présentes lignes directrices sont une adaptation au contexte technico-économique du bassin méditerranéen du Cadre pour l'évaluation des déblais de dragage adopté le 8 décembre 1995 par les parties contractantes à la Convention de Londres du 13 novembre 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets et autres matières, telle que modifiée en 1993.

Il est cependant implicitement reconnu que les considérations générales et les procédures détaillées décrites dans les lignes directrices ne peuvent s'appliquer dans leur intégralité à toutes les situations nationales ou locales.

Introduction

Les activités de dragage sont une composante essentielle des activités portuaires.

Deux grandes catégories de dragage peuvent être distinguées:

- **le dragage de travaux neufs**, effectué principalement aux fins de la navigation, pour élargir ou approfondir des chenaux et des zones portuaires existants, ou en créer de nouveaux; ce type de dragage comprend également certaines activités techniques qui ont lieu sur le fond de la mer, comme le creusement de tranchées pour la pose de canalisations ou de câbles, le percement de tunnels, l'enlèvement de matériaux ne convenant pas à des fondations, ou l'enlèvement de la strate de couverture dans le cas de l'extraction d'agrégats;
- **le dragage d'entretien**, effectué pour maintenir les dimensions nominales des chenaux, des postes de mouillage ou des ouvrages de génie civil.

Toutes ces activités sont susceptibles de générer de grandes quantités de matériaux qui doivent être éliminées. Une petite partie de ces matériaux peut se trouver polluée par des activités humaines dans une mesure telle que de sérieuses contraintes écologiques doivent être imposées au point où ces sédiments sont dragués ou immergés.

Il doit être également reconnu que les opérations de dragage proprement dites peuvent porter atteinte au milieu marin, notamment lorsque celles-ci se déroulent en milieu ouvert, à proximité de zones sensibles (aires d'aquaculture, zones à usage récréatif). C'est en particulier le cas lorsque les opérations de dragage se traduisent par un impact physique (augmentation de la turbidité), ou par la remise en suspension ou le relargage de certains polluants majeurs (métaux lourds, pollutions organiques ou bactériennes).

Compte tenu de ce qui précède, les Parties contractantes sont donc instamment incitées à exercer un contrôle sur les opérations de dragage, parallèlement à celui exercé sur les immersions. Le recours à la meilleure pratique environnementale (MPE) en matière de dragage constitue un préalable indispensable aux immersions, afin de minimiser la quantité de matériaux à draguer et l'impact des opérations de dragage et d'immersion dans la zone maritime.

Il sera possible de 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 acceptables du point de vue environnemental. Par le biais de son Cadre de politique environnemental et de ses liens étroits avec le secteur industriel pour la mise au point de techniques de production propre, l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel est en mesure d'offrir des conseils d'experts et une formation en vue de renforcer les capacités permettant d'élaborer un plan de gestion intégré des matériaux de dragage.

1. EXIGENCES DU PROTOCOLE SUR LES IMMERSIONS

1.1 L'article 4, par. 1, du Protocole dispose que l'immersion de déchets ou autres matières est interdite.

Néanmoins, aux termes de l'article 4, par. 2.a, du Protocole, l'immersion des matériaux de dragage peut déroger à cette règle et être autorisée sous 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 En outre, aux termes de l'article 6 du Protocole, les permis visés à l'article 5 ne sont délivrés qu'après examen attentif de tous les facteurs énumérés à l'annexe du Protocole. L'article 6, par. 2, dispose 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, dans le but de prévenir, réduire et éliminer la pollution.

1.4 Les présentes lignes directrices pour la gestion des matériaux de dragage, qui contiennent des conseils sur l'échantillonnage et l'analyse des dits matériaux, ont été établies en vue de servir de guide aux Parties contractantes pour qu'elles puissent :

- a) remplir leurs obligations quant à la délivrance de permis d'immersion de matériaux de dragage, conformément aux dispositions du Protocole;
- b) transmettre à l'Organisation des données fiables sur les apports, dans les eaux couvertes par le Protocole, de contaminants dus à l'immersion de matériaux de dragage.

1.5 Les présentes lignes directrices sont conçues pour permettre aux Parties contractantes de gérer les matériaux de dragage, sans toutefois polluer le milieu marin. Conformément à l'article 4, par. 2.(a) du Protocole "Immersion", les présentes lignes directrices portent spécifiquement sur l'immersion des matériaux de dragage à partir de navires et d'aéronefs. Elles ne portent donc pas sur les opérations de dragage ni sur l'élimination des déblais de dragage par des méthodes autres que l'immersion.

1.6 Les lignes directrices sont présentées en deux parties : la partie A traite de l'évaluation et de la gestion des matériaux de dragage; la partie B fournit une orientation sur la conception et la conduite de la surveillance des sites d'immersion marins.

Les lignes directrices s'ouvrent sur les conditions dans lesquelles les permis sont susceptibles d'être délivrés. Les chapitres 4, 6 et 7 ont trait aux considérations pertinentes de l'annexe du Protocole, à savoir les caractéristiques et la composition des matériaux de dragage (section A), les caractéristiques du site d'immersion et les méthodes de dépôt (section B), ainsi que les considérations et conditions générales (section C). Le chapitre 5 fournit des conseils complémentaires sur l'échantillonnage et l'analyse des matériaux de dragage.

CONDITIONS DANS LESQUELLES LES PERMIS D'IMMERSION DE MATÉRIAUX DE DRAGAGE PEUVENT ÊTRE DÉLIVRÉS

PARTIE A

ÉVALUATION ET GESTION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

1. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

1.1 Aux fins des présentes lignes directrices:

- on entend par "matériaux de dragage" toute formation sédimentaire (argile, limon, sable, graviers, roches et toute roche autochtone apparentée) qui est extraite de zones normalement ou régulièrement recouvertes par les eaux marines, en recourant à un engin de dragage ou à tout autre engin d'excavation;
- on entend par "immersion" le rejet délibéré dans la mer de matériaux de dragage à partir de navires, qu'il y ait ou non transport préalable desdits matériaux.

[Pour toute autre définition pertinente, le texte de l'articLe 3 du Protocole relatif à la prévention et à l'élimination de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs ou d'incinération en mer, s'applique.]
(AMENDEMENT PROPOSÉ PAR CHYPRE)

2. ELIMINATION DES DÉBLAIS DE DRAGAGE

2.1 L'immersion se traduisant dans la grande majorité des cas par une atteinte au milieu naturel, avant toute décision concernant l'octroi d'un permis d'immersion, il convient d'examiner d'autres méthodes d'élimination et explorer toutes les possibilités d'utilisation des matériaux dragués (voir annexe technique 3).

3. PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISIONS

3.1 Il est recommandé de procéder à une bonne sélection du site d'immersion plutôt qu'à des essais en application réelle. Pour réduire au minimum l'impact sur les zones de pêche d'agrément ou de pêche commerciale, la sélection de l'emplacement constitue un élément essentiel dans la protection des ressources; elle est abordée de façon plus approfondie à la section C de l'annexe du Protocole. (On trouvera au chapitre 7 ci-après des indications complémentaires sur la mise en oeuvre de la section C de l'annexe du Protocole).

3.2 Pour pouvoir définir les conditions dans lesquelles les permis d'immersion de matériaux de dragage sont susceptibles d'être accordés, les Parties contractantes devraient mettre en place, à l'échelon national et/ou régional, selon le cas, un mécanisme décisionnel permettant d'évaluer les propriétés des matériaux de dragage et de leurs constituants, au regard de la protection de la santé humaine et du milieu marin.

3.3 Le processus décisionnel s'appuie sur une série de critères élaborés sur une base nationale et/ou régionale, selon le cas, satisfaisant aux dispositions des articles 4, 5 et 6 du Protocole, et applicables à des substances spécifiques. Il conviendrait que lesdits critères tiennent compte de l'expérience acquise quant aux effets potentiels sur la santé humaine ou sur le milieu marin.

Ces critères pourront être exprimés en termes suivants:

- a) caractéristiques physiques, chimiques et géochimiques (par exemple, critères de qualité de sédiments);
- b) effets biologiques des produits de l'activité d'immersion (impact sur les écosystèmes marins);
- c) données de référence liées à telle ou telle méthode d'immersion ou à tel ou tel site d'immersion;
- d) effets environnementaux qui, spécifiques aux immersions de matériaux de dragage, sont tenus pour indésirables dans le champ proche et/ou éloigné des sites d'immersion désignés;
- e) contribution de l'immersion aux flux de contaminants locaux déjà existants (critère de flux).

3.4 Les critères devraient être déduits des études réalisées sur des sédiments présentant des propriétés géochimiques analogues à celles des sédiments à draguer et/ou du milieu récepteur. Ainsi, en fonction de la variation naturelle de la géochimie des sédiments, il peut s'avérer nécessaire d'élaborer des séries individuelles de critères pour chaque zone dans laquelle le dragage ou l'immersion est réalisé.

3.5 Le processus décisionnel peut, eu égard au bruit de fond naturel et à certains contaminants spécifiés ou à certaines réactions biologiques, stipuler un niveau de référence maximal et un niveau de référence minimal, déterminant trois possibilités:

- a) les matériaux contenant des contaminants spécifiés ou suscitant des réactions biologiques dépassant le niveau maximal pertinent devraient en général être considérés comme ne se prêtant pas à une immersion en mer;
- b) les matériaux contenant des contaminants spéciaux ou suscitant des réactions biologiques au-dessous du niveau minimal pertinent devraient en général être considérés comme peu préoccupants pour l'environnement en cas d'immersion en mer; et
- c) les matériaux de qualité intermédiaire devraient faire l'objet d'une évaluation plus approfondie avant que l'on puisse déterminer s'ils se prêtent à une immersion en mer.

3.6 Lorsque les critères et les limites réglementaires correspondantes ne peuvent être satisfaits (cas a) ci-dessus), une Partie contractante ne devrait pas délivrer de permis, sauf si un examen détaillé, réalisé dans les conditions visées à la section C de l'annexe du Protocole, indique que, néanmoins, l'immersion en mer constitue l'option la moins préjudiciable au regard des autres techniques d'élimination. Si une telle conclusion est tirée, la Partie contractante:

- a) met en oeuvre un programme de réduction à la source de la pollution qui parvient dans le milieu dragué, quand cette source existe et qu'elle peut être réduite par un tel programme, dans le but de répondre aux critères définis;
- b) prend toutes les mesures concrètes afin d'atténuer l'impact de l'opération d'immersion sur le milieu marin, comme, par exemple, le recours à des méthodes de confinement (capping) et de traitement;

- c) établit une hypothèse d'impact sur le milieu marin détaillée;
- d) engage une activité de surveillance (activité de suivi), conçue pour vérifier, au regard notamment de l'hypothèse d'impact sur le milieu marin, tout effet préjudiciable que l'immersion est censée avoir;
- e) délivre un permis spécifique;
- f) rend compte à l'Organisation de l'immersion qui a été réalisée, en indiquent les raisons pour lesquelles le permis d'immersion a été délivré.

Lorsqu'il s'avère improbable que les techniques de gestion des activités de dragage puissent atténuer les effets nocifs des matériaux contaminés, on peut avoir recours au dragage sélectif ou à la séparation [~~dragage sélectif ou à la séparation~~ **séparation physique à terre**] des fractions les plus contaminées (par exemple en recourant à des hydrocyclones), afin de réduire au minimum les quantités de matériaux pour lesquels ces mesures sont nécessaires. **(AMENDEMENT PROPOSÉ PAR L'ESPAGNE)**

3.7 Pour évaluer les possibilités d'harmonisation ou de consolidation des critères visés aux paragraphes 3.3 à 3.6 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.

3.8 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 sur le milieu marin (voir partie B, par. 5.1 et 5.2) au titre de chacune des opérations d'immersion en mer. En concluant leurs évaluations des conséquences environnementales de ces opérations, avant que le permis ne soit accordé, les Parties contractantes devraient formuler de telles hypothèses d'impact, conformément aux indications données à la partie B, paragraphes 5.2 à 7.1. Cette hypothèse d'impact constituera la base principale sur laquelle reposera la conception des activités post-opérationnelles de surveillance.

4. APPRÉCIATION DES CARACTÉRISTIQUES ET DE LA COMPOSITION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

Caractérisation physique

4.1 Pour tous les matériaux de dragage destinés à être immergés en mer, les renseignements suivants doivent être obtenus:

- quantité de matériaux (tonnage brut à l'état humide);
- méthode de dragage (dragage mécanique, dragage hydraulique, dragage pneumatique) et application de la MPE¹;
- évaluation préliminaire et grossière des caractéristiques des sédiments (c'est-à-dire argile/limon/sable/graviers/roches).

4.2 Pour pouvoir juger de la capacité de la zone à recevoir des matériaux de dragage, la

¹ Meilleure pratique environnementale

quantité totale de matériaux et le taux prévu - ou réel - de remplissage de la zone d'immersion doivent être pris en considération.

Caractérisation chimique et biologique

4.3 Les matériaux de dragage doivent faire l'objet d'une caractérisation chimique et biologique, pour apprécier pleinement leur impact potentiel. Il se peut que les renseignements en question puissent être obtenus auprès de sources d'information existantes, par exemple par suite d'observations faites sur le terrain et portant sur l'impact de matériaux analogues sur des sites semblables, ou du fait des résultats d'analyses antérieures effectuées sur des matériaux analogues, sous réserve que ces analyses aient été effectuées dans les cinq dernières années, ou encore de la connaissance que l'on a des rejets locaux ou autres sources de pollution, connaissance étayée par des analyses sélectives.

Dans ces cas, il se peut qu'il ne soit pas nécessaire de mesurer à nouveau les effets potentiels de matériaux analogues au voisinage.

4.4 A titre préliminaire, une caractérisation chimique et, le cas échéant, biologique est nécessaire afin d'estimer les charges brutes de contaminants, surtout dans le cas de nouvelles opérations de dragage. En ce qui concerne les éléments et les composés à analyser, les exigences sont exposées au chapitre 5.

4.5 Le but des analyses stipulées au présent chapitre est de savoir si l'immersion en mer de matériaux de dragage renfermant des substances qui présentent des contaminants est susceptible d'avoir des effets indésirables, en particulier des effets toxiques, chroniques ou aigus, chez les organismes marins ou pour la santé humaine, du fait ou non de leur bioaccumulation dans les organismes marins et spécialement dans les espèces comestibles.

4.6 Les procédures d'analyse biologique ci-après peuvent ne pas être nécessaires si la caractérisation physique et chimique antérieure du matériau dragué et de la zone réceptrice, ainsi que les informations biologiques disponibles, permettent d'apprécier, sur une base scientifique adéquate, l'impact sur l'environnement.

Si toutefois :

- l'analyse antérieure du matériau révèle la présence de contaminants à des quantités considérables dépassant le niveau supérieur de référence visé au paragraphe 3.5 a) ci-dessus, ou de substances dont on ne connaît pas les effets biologiques;
- les effets antagonistes ou synergiques de plus d'une substance sont préoccupants;
- il y a un doute quelconque quant à la composition ou aux propriétés exactes du matériau;

les procédures d'analyse biologique appropriées doivent être appliquées.

Ces procédures, portant notamment sur des espèces bio-indicatrices, pourraient éventuellement comprendre:

- analyses de toxicité aiguë;
- analyses de toxicité chronique, capables d'évaluer les effets sublétaux à long terme, telles que les épreuves biologiques sur la totalité du cycle de vie;

- analyses visant à déterminer le potentiel de bioaccumulation de la substance préoccupante;
- analyse visant à déterminer le potentiel d'altération de la substance préoccupante.

4.7 Lorsqu'elles sont larguées dans le milieu marin, les substances présentes dans les matériaux de dragage subissent parfois des modifications physiques, chimiques et biochimiques. La possibilité qu'a le matériau de dragage de subir ces modifications doit être envisagée à la lumière du devenir et des effets potentiels du matériau en question. Ces éléments peuvent être reflétés dans l'hypothèse d'impact ainsi que dans un programme de surveillance continue.

Exemptions

4.9 Les matériaux de dragage peuvent être exemptés des analyses visées aux paragraphes 4.3 et 4.6 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 6 et 7 ci-après) :

- a) Les matériaux dragués sont presque exclusivement composés de sable, de gravier ou de roche; ces matériaux sont fréquemment rencontrés dans des zones à fort courant ou à houle de haute énergie, telles que les cours d'eau aux lits fortement chargés ou les zones côtières à barres et chenaux mobiles;
- b) Les matériaux de dragage sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts.
- c) Les matériaux dragués sont destinés à entretenir, engraisser ou à restaurer des plages et sont surtout composés de sable, de gravier ou de coquilles dont la granulométrie est compatible avec le matériau des plages réceptrices.

Dans le cas de projet de dragage de grands travaux, les autorités nationales peuvent, compte tenu de la nature des matériaux à immerger en mer, exempter une partie des dits matériaux des exigences des présentes lignes directrices, après avoir effectué un échantillonnage représentatif. Cependant, le dragage de grands travaux dans des zones susceptibles de contenir des sédiments pollués, devrait être subordonné à la caractérisation visée dans les présentes lignes directrices, notamment au paragraphe 4.4.

5. LIGNES DIRECTRICES SUR L'ÉCHANTILLONNAGE ET L'ANALYSE DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

Echantillonnage aux fins de la délivrance d'un permis d'immersion

5.1 Dans le cas des matériaux de dragage qui requièrent une analyse détaillée (autrement dit, non exemptés en vertu du paragraphe 4.8 ci-dessus), les lignes directrices suivantes indiquent comment obtenir des données analytiques suffisantes pour délivrer le permis. L'appréciation et la connaissance des conditions locales joueront un rôle fondamental dans l'application des présentes lignes directrices à toute opération particulière (voir paragraphe 5.11).

5.2 Il sera procédé à une étude *in situ* de la zone à draguer. Le pas et la profondeur de l'échantillonnage doivent refléter la taille de la zone à draguer, le volume à draguer et la variabilité probable dans la distribution horizontale et verticale des contaminants. Pour évaluer le nombre

d'échantillons à analyser, différentes approches peuvent être retenues.

5.3 Deux exemples de ces approches différentes sont donnés ci-dessous:

a. Le nombre de stations d'échantillonnage pourrait être ajusté à la zone à draguer en appliquant la formule $N=x/25$, où x est la superficie en mètres carrés et N le nombre de stations d'échantillonnage ($N \geq 4$). Compte tenu des caractéristiques d'échange dans la zone à draguer, le nombre de stations d'échantillonnage devrait être plus restreint pour les zones ouvertes (cf. "Recommendations for the management of dredged material in the ports of Spain" (Cedex 1994)).

b. Le tableau ci-après donne des indications sur le nombre d'échantillons qu'il convient d'analyser en rapport avec le nombre de m^3 à draguer afin d'obtenir des résultats représentatifs, si l'on présume que les sédiments de la zone à draguer sont raisonnablement uniformes:

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

Des carottes seront prélevées 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 effectué à bord d'un engin de dragage n'est pas acceptable.

5.4 Normalement, les échantillons prélevés à chaque station doivent être analysés séparément. Toutefois, si, de toute évidence, les sédiments présentent des caractéristiques homogènes (granulométrie et charge en matière organique), et si le niveau probable de contamination est uniforme, il est possible de réaliser 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 contaminants. Les échantillons d'origine doivent être conservés jusqu'à ce que la procédure de délivrance du permis soit achevée, et ce dans l'éventualité où, au vu des résultats obtenus, de nouvelles analyses sont nécessaires.

Echantillonnage dans le cas du renouvellement d'un permis d'immersion

5.5 Si une étude prouve que, pour l'essentiel, le matériau est en-dessous du niveau de référence minimal visé au paragraphe 3.5. b) et sous réserve qu'aucun nouvel événement de pollution n'a été la cause de la détérioration de la qualité des matériaux dragués, il n'est pas nécessaire de répéter les études.

5.6 Si les activités de dragage concernent un matériau dont la teneur en contaminant est comprise entre les niveaux de référence maximal et minimal visés au paragraphe 3.5 a) et b) ci-dessus, il peut être possible, au vu de l'étude initiale, de réduire soit le nombre de stations d'échantillonnage, soit le nombre de paramètres à analyser. Les données recueillies doivent cependant permettre de confirmer les résultats obtenus par 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 le nombre de paramètres à analyser de façon répétitive est réduit, une nouvelle analyse de tous les paramètres énumérés sur la liste de l'annexe technique 1 est conseillée à des intervalles appropriés mais ne devant pas dépasser 5 ans.

5.7 *A contrario*, dans les zones où les sédiments ont tendance à présenter de hauts niveaux de contamination, et où la distribution des contaminants évolue rapidement en réponse à la fluctuation de facteurs environnementaux, l'analyse des contaminants pertinents doit être fréquente et liée à la procédure de renouvellement des permis.

Communication des données sur les apports

5.8 Le plan d'échantillonnage exposé ci-dessus fournit des renseignements aux fins de la délivrance des permis. Toutefois, on peut aussi s'appuyer sur ce plan pour estimer la totalité des apports; à cet égard et dans l'état actuel des choses, ce plan peut être considéré comme la stratégie la plus précise. Dans ce contexte, il est présumé que les matériaux exemptés d'analyse représentent un apport négligeable de contaminants et qu'il n'est donc pas nécessaire ni de calculer les charges polluantes, ni d'en faire rapport.

Paramètres et méthodes

5.9 Compte tenu du fait que les contaminants sont surtout concentrés dans la fraction granulométrique fine (# 2 mm) et même plus spécifiquement dans la fraction argileuse (# 2 Fm), l'analyse doit normalement être faite sur la fraction de l'échantillon de granulométrie # 2 mm. Il sera par ailleurs nécessaire, pour que l'impact éventuel des teneurs en contaminants puisse être apprécié, de donner les renseignements suivants:

- distribution granulométrique (% de sable, de limon, d'argile);
- charge de matière organique;
- matière sèche (pourcentage de solides).

5.10 Dans les cas où l'analyse est nécessaire, elle devient alors obligatoire pour les substances métalliques énumérées à l'annexe technique 1 (paramètres du groupe primaire). En ce qui concerne les organochlorés, les polychlorobiphényles (PCB) demeurent d'importants polluants environnementaux, ils doivent être dosés, au cas par cas, sur les matériaux non exemptés. D'autres organohalogénés doivent aussi être dosés s'ils sont susceptibles d'être présents en raison d'apports locaux.

5.11 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 aromatiques polycycliques (HAP) et des composés organostanniques. L'autorité doit prendre des dispositions afin de doser ces substances, le cas échéant.

Devraient à ce titre être pris en compte:

- les voies par lesquelles les contaminants pourraient logiquement avoir pénétré dans les sédiments;
- la probabilité d'une contamination due au ruissellement à partir de terres agricoles et au ruissellement urbain;

- les rejets de contaminants dans la zone où le dragage doit être effectué, notamment par suite des activités portuaires;
- les rejets de déchets industriels et municipaux (passé et présents);
- l'origine et l'utilisation antérieure des matériaux de dragage (par exemple, engraissement de plages); et
- la présence de gisements naturels importants de minéraux et autres substances naturelles.

5.12 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, sont données dans les annexes techniques des présentes lignes directrices telles qu'adoptées et actualisées périodiquement par les Parties contractantes.

6. CARACTÉRISTIQUES DU SITE DE L'IMMERSION ET MÉTHODE DE DÉPÔT

6.1 Les études du GESAMP (Rapports et études nE 16: Critères scientifiques de sélection des zones d'élimination des déchets en mer, OMI 1982) (Reports and Studies nE 16: Scientific Criteria for the Selection of Waste Disposal Sites, IMO 1982) ainsi que du CIEM (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.

Le choix d'un site d'immersion en mer ne suppose pas seulement la prise en considération de paramètres environnementaux, mais également l'examen de la faisabilité économique et pratique.

6.2 Afin de pouvoir évaluer un nouveau site d'immersion en mer, les renseignements fondamentaux sur les caractéristiques du site en question doivent être examinés par les autorités nationales à un stade très précoce du processus décisionnel.

Aux fins de l'étude de l'impact, ces informations doivent comprendre les coordonnées géographiques de la zone d'immersion (longitude, latitude), sa distance à la côte la plus proche ainsi que sa proximité au regard:

- des aires à usage récréatif;
- des zones de frai, de repeuplement et de reproduction de poissons, crustacés et mollusques;
- des itinéraires de migration connus des poissons ou des mammifères marins;
- des zones de pêche commerciale et sportive;
- des zones de mariculture;
- des zones de beauté naturelle, ou d'une importance particulière du point de vue culturel ou historique;
- des zones d'une importance particulière du point de vue scientifique, biologique ou écologique;

- des routes de navigation;
- des zones réservées aux activités militaires;
- des utilisations industrielles du lit de la mer (par exemple, opérations minières éventuelles ou en cours, sur le fond de la mer, présence de câbles sous-marins, présence de zones de dessalement ou de transformation d'énergie).

L'immersion des matériaux de dragage ne doit pas gêner, ni dévaluer, les utilisations commerciales et économiques légitimes du milieu marin. Le choix des sites d'immersion doit tenir compte de la nature et de l'ampleur des activités de pêche, qu'elles soient commerciales ou d'agrément; il doit également tenir compte de la présence d'exploitations aquacoles ainsi que des aires de frai, d'élevage et d'alimentation.

6.3 Compte tenu des incertitudes entourant la diffusion des contaminants marins provoquant une pollution transfrontière, l'immersion de matériaux de dragage en haute mer ~~devrait être interdite~~. **[n'est pas considérée comme la solution la plus appropriée au plan environnemental pour prévenir la pollution marine, et il convient donc de l'éviter.]**
(AMENDEMENT PROPOSÉ PAR L'ESPAGNE)

6.4 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. navire, clapage et autres rejets contrôlés comme le déchargement par goulotte ou canalisation);
- la méthode de dragage (par ex. hydraulique ou mécanique), compte tenu de la meilleure pratique environnementale (MPE).

6.5 Pour l'évaluation des caractéristiques de dispersion, le recours à des modèles mathématiques de diffusion exige que soient collectées un certain nombre de données météorologiques, hydrodynamiques, océanographiques. Il importe en outre que soient rendues disponibles les données relatives à la vitesse du navire qui procède aux immersions et au taux de rejet des matériaux de dragage.

6.6 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 synergiques, par exemple) avec d'autres substances introduites dans la zone, que ce soit du fait d'autres immersions, d'apports fluviaux et de rejets d'origine côtière, de la présence de zones d'exploitation, des transports maritimes ou de retombées atmosphériques.

Il convient d'évaluer les contraintes qui s'exercent sur les communautés biologiques du fait de telles activités, avant que n'aient lieu de quelconques opérations d'immersion de matériaux de dragage, qu'elles soient nouvelles ou complémentaires.

Les utilisations futures éventuelles des ressources et valeurs d'agrément dans la zone marine réceptrice doivent être gardées à l'esprit.

6.7 Les renseignements issus des études de lignes de base et des études de surveillance continue effectuées aux sites d'immersion existants joueront un rôle important dans l'évaluation de toute nouvelle opération d'immersion sur le même site ou à proximité de celui-ci.

7. CONSIDÉRATIONS ET CONDITIONS GÉNÉRALES

NATURE, PRÉVENTION ET MINIMISATION DE L'IMPACT DE L'ÉLIMINATION DE MATÉRIAUX DE DRAGAGE

7.1 Une attention particulière sera portée aux matériaux de dragage contaminés par des hydrocarbures et contenant des substances qui ont tendance à flotter après avoir été remises en suspension dans la colonne d'eau. Ces matériaux ne doivent en effet pas être immergés dans des conditions ni à des emplacements tels qu'ils soient susceptibles de porter atteinte à la pêche, à la navigation, aux valeurs d'agrément ou à d'autres utilisations bénéfiques du milieu marin.

7.2 Dans la sélection des sites d'immersion, il conviendra d'éviter les habitats d'espèces rares, vulnérables ou menacées, eu égard à la préservation de la biodiversité.

7.3 En plus des effets toxicologiques et de la bioaccumulation des constituants des matériaux de dragage, d'autres conséquences éventuelles sur la faune et la flore marines devraient être envisagées, telles que :

- la modification des capacités sensorielles et physiologiques ainsi que du comportement des poissons, notamment au regard des prédateurs naturels;
- l'enrichissement en substances nutritives;
- l'appauvrissement en oxygène;
- l'augmentation de la turbidité;
- la modification de la composition des sédiments et le recouvrement de sol marin.

Impact physique

7.4 Tous les déblais de dragage, contaminés ou non, ont un impact physique important au point d'élimination. Cet impact comprend un recouvrement du fond de la mer, ainsi qu'un accroissement localisé des niveaux de matières en suspension.

L'impact physique peut également s'étendre à des zones autres que la zone d'immersion proprement dite en raison d'un déplacement vers l'avant des matériaux immergés 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, la présence de sédiments consommateurs d'oxygène (par exemple riches en carbone organique) peut porter atteinte au régime de l'oxygène des milieux récepteurs; de même, l'immersion de sédiments à forte teneur en éléments nutritifs peut avoir une forte influence sur les flux de ces derniers et, dans les cas extrêmes, contribuer à l'eutrophisation de la zone réceptrice.

Impact chimique

7.5 L'impact chimique de l'élimination des matériaux de dragage sur la qualité des eaux marines (et la matière vivante), résulte principalement de la dispersion des polluants en association avec la matière en suspension, et le relargage des polluants à partir des sédiments accumulés sur le site d'immersion.

La capacité de rétention des contaminants peut varier considérablement. La mobilité des contaminants dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer la forme chimique du contaminant, sa distribution, le type de matrice, l'état physique du système (pH, TE, ...), la courantologie, les matières en suspension (présence de matières organiques), le type de processus interactif comme les mécanismes de sorption/désorption - ou de précipitation/dissolution, et l'activité biologique.

Impact bactériologique

7.6 Du point de vue de la bactériologie, les opérations de dragage ou d'immersion de déblais de dragage peuvent entraîner une remise en suspension de la flore des sédiments et, en particulier, des bactéries fécales, piégées dans ces derniers. Les études réalisées montrent qu'il existe, notamment sur les sites de dragage, une corrélation hautement significative entre les turbidités et les concentrations en germes tests (coliformes fécaux, streptocoques fécaux).

Impact biologique

7.7 Sur le plan biologique, les impacts physiques peuvent avoir pour conséquence immédiate l'étouffement de la faune et de la flore benthiques dans la zone d'immersion.

Néanmoins, dans certains cas, après cessation des immersions, il peut se produire une modification de l'écosystème, notamment lorsque les caractéristiques des sédiments présents dans les matériaux de dragage sont très différentes de celles des sédiments du milieu récepteur.

Dans certaines conditions bien précises, l'immersion peut gêner la migration du poisson ou des crustacés (si, par exemple, le dépôt intervient sur les itinéraires de migration côtière des crabes).

Par ailleurs, l'impact de la pollution chimique résultant de la dispersion des polluants en association avec la matière en suspension, et le relargage des polluants à partir des sédiments accumulés sur le site d'immersion, peut se traduire par un changement dans la composition, la diversité et l'abondance des communautés benthiques..

Impact économique

7.8 Une conséquence importante de la présence physique des opérations d'immersion des matériaux de dragage tient aux atteintes portées aux activités de pêche et, dans certains cas, à la navigation et aux loisirs. La première de ces atteintes concerne à la fois l'étouffement des zones susceptibles d'être utilisées pour la pêche et l'entrave qui en résulte pour les engins de pêche fixes; la formation de hauts-fonds à la suite des immersions peut créer des dangers pour la navigation, tandis que le dépôt d'argile ou de vase peut se révéler une nuisance pour les zones à usage récréatif. Ces problèmes sont parfois aggravés lorsque les déblais sont pollués par des débris portuaires volumineux tels que poutres en bois, ferraille, fragments de câbles, etc.

Les stratégies de gestion

7.9 La présente section ne traite que des techniques de gestion destinées à réduire au minimum les effets physiques de l'élimination des matériaux de dragage. Les mesures de lutte contre la pollution des matériaux de dragage sont abordées dans d'autres chapitres des présentes lignes directrices.

7.10 La clef de la gestion tient au choix judicieux du site (voir chapitre 5) ainsi qu'à l'évaluation du conflit entre les ressources marines, le milieu marin et les activités en mer. Les remarques qui suivent ont pour but de compléter ces considérations.

7.11 Pour éviter une utilisation excessive du lit de la mer, le nombre de sites doit être limité dans toute la mesure du possible, et chacun des sites doit faire l'objet d'une utilisation maximum sans pour autant porter atteinte à la navigation (formation de hauts fonds).

Dès lors que les dépôts cessent, toutes dispositions doivent être prises pour que la recolonisation prenne place.

7.12 Les effets peuvent être réduits en faisant en sorte que, dans toute la mesure du possible, les sédiments contenus dans les matériaux de dragage soient analogues à ceux de la zone réceptrice. Localement, l'impact biologique peut être davantage réduit si la zone de sédimentation est naturellement sujette à une forte agitation (courants horizontaux et verticaux). Lorsque trouver de telles conditions s'avère impossible, et lorsqu'il s'agira de matériaux propres et fins, un style d'immersion délibérément dispersif sera pratiqué afin de limiter le recouvrement à une petite surface.

7.13 Dans le cas des dragages de grands travaux et des dragages d'entretien, la nature des matériaux de dragage peut être différente de celle des sédiments de la zone réceptrice, et la recolonisation pourra être affectée. En cas de dépôt de matériaux volumineux, tels que roches et argile, les activités de pêche risquent d'être gênées, même à long terme.

7.14 Il se peut qu'il faille apporter des restrictions provisoires aux opérations d'immersion (par exemple, au moment des marées, ou des restrictions saisonnières). Les entraves apportées à la migration ou au frai des poissons, ou des crustacés, ou à la pêche saisonnière, peuvent être évitées en imposant un calendrier aux opérations d'immersion.

Le creusement de tranchées, ainsi que les opérations de remblayage risquent aussi de porter atteinte aux comportements migratoires, et des mesures de restriction similaire sont nécessaires.

7.15 S'il y a lieu, les barges procédant à des immersions devraient être équipées d'appareils de localisation précis, comme des systèmes de localisation par satellites. Les barges d'immersion devraient être inspectées et les opérations faire l'objet d'un contrôle régulier afin de s'assurer que les conditions du permis d'immersion sont bien respectées et que l'équipage est conscient des responsabilités qui lui incombent en vertu du permis. 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'immersion a bien lieu dans la zone stipulée.

Lorsque les déchets solides posent problème, il peut être nécessaire de spécifier que la barge (ou la drague) doit être équipée 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.

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

8. TECHNIQUES DE GESTION DES ÉLIMINATIONS

8.1 En définitive, les problèmes posés par l'élimination des matériaux de dragage contaminés ne peuvent être résolus efficacement qu'en mettant en oeuvre des programmes et en adoptant des mesures visant l'élimination progressive de rejets polluants dans des eaux d'où les matériaux de dragage sont prélevés.

Jusqu'à ce que cet objectif ait été atteint, les problèmes posés par les matériaux de dragage contaminés peuvent être résolus en faisant appel à des techniques appropriées de gestion des éliminations.

8.2 "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 matériaux peut être ramené ou maintenu à un niveau qui ne constitue pas un danger pour la santé humaine, ne porte pas atteinte aux ressources vivantes ainsi qu'à la flore et la faune marine, ne compromet pas les valeurs d'agrément ni ne gêne les autres utilisations légitimes de la mer.

8.3 En tout état de cause, le recours à de telles techniques doit se faire en pleine conformité avec les considérations pertinentes de l'annexe du Protocole "Immersion", comme l'évaluation comparative des autres options d'élimination, et doit systématiquement être associé à une surveillance après l'immersion (suivi écologique), destinée à apprécier l'efficacité de la technique ainsi que la nécessité de toute mesure de suivi dans la gestion.

[9. PERMIS

9.1 Le permis autorisant le rejet en mer contiendra les clauses et conditions auxquelles le rejet peut avoir lieu et il fournira un cadre servant à évaluer et à assurer la conformité.

9.2 Les conditions du permis seront énoncées dans un langage clair et sans équivoque et elles seront conçues de manière à garantir:

- (a) que seules sont immergées les matières qui ont été caractérisées et jugées acceptables pour un rejet en mer sur la base d'une étude d'impact;**
- (b) que les matières sont rejetées au site choisi pour l'élimination;**
- (c) que sont appliquées toutes les techniques nécessaires de gestion du rejet identifiées lors de l'étude d'impact; et**
- (d) que toutes les conditions requises en matière de surveillance continue sont remplies et que les résultats sont communiqués à l'autorité délivrant le permis.**

10. RAPPORTS

10.1 Les Parties contractantes doivent notifier à l'Organisation les permis délivrés, la quantité totale de matériaux dragués et les charges de contaminants. Elles doivent également informer l'Organisation de leurs activités de surveillance continue (voir partie B).

10.2 La notification à l'Organisation des matières exemptées d'analyse se fera sur une base volontaire. J (AMENDEMENT PROPOSÉ PAR L'ESPAGNE)

PARTIE B

LA SURVEILLANCE DES OPÉRATIONS D'IMMERSION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

1. DÉFINITION

1.1 Dans le contexte de l'évaluation et de la réglementation des impacts que les opérations d'immersion des matériaux de dragage ont sur l'environnement et sur la santé humaine, la surveillance est définie comme l'ensemble des mesures qui ont pour objet de déterminer, à partir de la mesure répétée d'un contaminant ou d'un effet, direct ou indirect, de l'introduction de ce contaminant dans le milieu marin, les modifications que subit, dans le temps et dans l'espace, le milieu récepteur, du fait de l'activité considérée.

2. MOTIVATIONS

2.1 En général, les motivations de la surveillance des opérations d'immersion des matériaux de dragage sont les suivantes:

- i) savoir si les conditions dont les permis sont assorties sont bien satisfaites - contrôle de conformité - et, par là, s'assurer que celles-ci 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, et ce 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 les capacités de dispersion et d'assimilation du milieu marin ne sont pas outrepassées et qu'elles n'entraînent donc aucun dommage pour l'environnement.

3. OBJECTIFS

3.1 Les objectifs de la surveillance sont de déterminer les teneurs en polluants dans tous les sédiments dépassant le niveau de référence minimal visé au paragraphe 3.5 b) des lignes directrices et dans les organismes bio-indicateurs, les effets biologiques et les conséquences que l'immersion des matériaux de dragage ont sur le milieu marin, et, en définitive, de permettre aux responsables de lutter contre l'exposition des organismes aux matériaux de dragage et aux contaminants qui leur sont associés.

4. STRATÉGIE

4.1 Les opérations de surveillance sont coûteuses car elles exigent des ressources considérables aussi bien pour mener les campagnes de mesures et de prélèvement en mer que pour le travail analytique à effectuer ultérieurement sur les échantillons.

Pour pouvoir aborder le programme de surveillance dans des conditions d'utilisation

rationnelle des ressources, il est essentiel que celui-ci ait des objectifs clairement définis, que les déterminations effectuées puissent satisfaire à ces objectifs, et que les résultats soient examinés à intervalles réguliers en les comparant auxdits objectifs.

Etant donné que les effets de l'immersion 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), de manière à accroître la compréhension que l'on a des effets et des processus.

Dans les zones qui présentent les mêmes caractéristiques, physiques, chimiques et biologiques, ou des caractéristiques très proches, il existe de fortes présomptions pour que l'immersion de matériaux de dragage se traduise par des effets identiques. Au plan scientifique et économique, la surveillance de toutes ces zones, et notamment de celles qui reçoivent de petites quantités de matériaux (par ex. moins de 25.000 tonnes) ne se justifie guère. Il est donc préférable et plus rentable de se concentrer sur une étude approfondie de quelques zones judicieusement choisies (par exemple, sujettes à de gros apports de matériaux de dragage) et d'acquies ainsi une meilleure compréhension des processus et des effets.

5. HYPOTHÈSE D'IMPACT

5.1 Pour pouvoir définir ces objectifs, il convient tout d'abord d'établir une hypothèse d'impact décrivant les effets prévus sur l'environnement physique, chimique et biologique aussi bien de la zone d'immersion que des zones situées en dehors de celle-ci. L'hypothèse d'impact constitue la base de la définition du programme de surveillance sur le terrain.

5.2. Le but d'une hypothèse d'impact est de procéder, à partir des éléments d'information disponibles, à une analyse scientifique concise des effets potentiels de l'opération envisagée sur la santé humaine, sur les ressources biologiques, sur la flore et la faune marine, sur les valeurs d'agrément et autres utilisations légitimes de la mer. A cet effet, une hypothèse d'impact doit intégrer des informations sur les caractéristiques des matériaux de dragage, ainsi que sur les conditions du site d'immersion envisagé. Elle doit englober aussi bien des échelles chronologiques que spatiales des effets potentiels.

L'une des principales exigences de l'hypothèse d'impact est de mettre au point des critères décrivant les effets environnementaux spécifiques des activités d'immersion, effets dont l'apparition doit être empêchée en dehors des zones de dragage et d'immersion désignées (voir partie A, chapitre 3).

6. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

6.1. L'évaluation préliminaire devrait être aussi complète que possible. Les zones principales d'impact potentiel devraient être identifiées, ainsi que celles considérées comme ayant les conséquences les plus sérieuses pour la santé humaine et pour l'environnement. A cet égard, les modifications de l'environnement physique, les risques pour la santé humaine, la dépréciation des ressources marines, et la gêne causée aux autres utilisations légitimes de la mer, sont souvent considérés comme des priorités.

6.2. Les conséquences prévues de l'immersion (cibles) pourraient être décrites en termes d'habitats, de processus, d'espèces, de communautés et d'utilisations affectés par l'immersion.

La nature précise de la modification, de la réponse du milieu ou de la gêne occasionnée (effet) prévus 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 lors de la surveillance de terrain post-opérationnelle. Dans ce dernier contexte, il pourrait être essentiel de déterminer "où" et "quand" les impacts sont susceptibles d'intervenir.

7. ÉTAT DE RÉFÉRENCE

7.1. Pour développer une hypothèse d'impact, il peut s'avérer nécessaire de réaliser une étude de lignes de base - état de référence - qui décrive non seulement des caractéristiques environnementales, mais également la variabilité de l'environnement. Il peut aussi être utile de créer des modèles mathématiques de transport des sédiments, de l'hydrodynamique et d'autres modèles, ceci afin de déterminer les possibles effets de l'immersion.

Lorsqu'il est estimé que des phénomènes physiques ou chimiques sont susceptibles de se produire 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 être aussi nécessaire d'examiner la qualité chimique des sédiments et de la matière vivante (dont le poisson), en particulier les teneurs en polluants majeurs.

Pour pouvoir évaluer l'impact de l'activité proposée sur les milieux environnants, il convient de comparer la qualité physique, chimique et biologique des zones affectées 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 premiers stades de l'évaluation d'impact.

8. VÉRIFICATION DE L'HYPOTHÈSE D'IMPACT: CONCEPTION DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE

8.1. Le programme de mesure devrait être conçu de manière à permettre de vérifier que les modifications physiques, chimiques ou biologiques du milieu récepteur ne sont pas supérieures à celles envisagées par l'hypothèse d'impact.

Plus largement, le programme de mesures doit être conçu afin de déterminer :

- a) si la zone d'impact diffère de celle qui était prévue; et
- b) si l'ampleur des modifications en dehors de la zone d'impact direct se situe dans les limites de l'échelle prévue.

Il peut être répondu à la première question en concevant une séquence de mesures dans l'espace et dans le temps qui circonscrivent la zone d'impact prévue afin de s'assurer que, sur le plan spatial, l'échelle prévue des modifications n'est pas dépassée.

La réponse à la seconde question peut être apportée en effectuant des mesures physiques, chimiques et biologiques qui renseignent sur l'ampleur des modifications survenues en dehors de la zone d'impact après l'opération d'immersion (vérification de l'hypothèse nulle).

Ainsi, avant que tout programme ne soit mis sur pied et qu'une quelconque mesure ne soit effectuée, il conviendrait de répondre aux questions suivantes:

- i) quelles hypothèses vérifiables peut-on établir à partir de l'hypothèse d'impact?
- ii) que doit-on mesurer exactement pour vérifier ces hypothèses?

- iii) dans quel compartiment ou à quels emplacements les mesures sont-elles le plus efficaces?
- iv) pendant combien de temps les mesures doivent-elles se poursuivre pour satisfaire à l'objectif?
- v) quelle doit être l'échelle temporelle et spatiale des mesures effectuées?
- vi) comment les données doivent-elles être traitées et interprétées.

8.2. 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.

9. SURVEILLANCE

9.1. L'immersion 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 premiers stades de la planification de la surveillance, il est souvent possible de limiter au lit de la mer la surveillance ultérieure.

9.2. 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, 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 au titre de vérité terrain. De plus, un balayage multispectral peut être utilisé afin de contrôler la dispersion de la matière en suspension (panaches, etc.).

9.3. Des traceurs peuvent aussi 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.

9.4. Lorsque, au regard de l'hypothèse d'impact, il est estimé que des phénomènes soit physiques, soit 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 matière vivante (dont le poisson).

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

9.6. La fréquence de l'enquête dépend d'un certain nombre de facteurs. Lorsqu'une opération d'immersion s'est poursuivie pendant plusieurs années auparavant, il peut s'avérer 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.).

9.7. S'il est décidé de surveiller la restauration d'une zone qui n'est plus utilisée afin d'y

immerger des matériaux de dragage, des mesures plus fréquentes pourraient s'avérer nécessaires.

10. NOTIFICATION

10.1. Les Parties contractantes devraient communiquer à l'Organisation leurs activités de surveillance.

De brefs rapports sur les activités de surveillance seront établis et transmis à l'Organisation dès que disponibles conformément à l'article 26 de la Convention de Barcelone.

Ces rapports devraient détailler les analyses effectuées, les résultats obtenus, et préciser comment ces données correspondent aux objectifs de surveillance et confirment les hypothèses d'impact. La fréquence des rapports dépendra de l'ampleur de l'activité d'immersion, de l'intensité des contrôles exercés et des résultats obtenus.

11. RÉTROACTION

11.1. Les renseignements recueillis grâce à la surveillance de terrain (et/ou à d'autres recherches connexes) peuvent être exploités :

- a) pour modifier le programme de surveillance sur le terrain ou, dans le meilleur des cas, y mettre fin;
- b) pour modifier ou annuler le permis;
- c) pour affiner les critères sur la base desquels sont examinées les demandes de permis.

SUPPLÉMENTS TECHNIQUES AUX LIGNES DIRECTRICES POUR LA GESTION DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

ANNEXE TECHNIQUE 1

Analyses nécessaires à l'évaluation des matériaux de dragage

1. La présente annexe renforce les exigences analytiques visées aux paragraphes 5.9 à 5.12 des lignes directrices pour la gestion des matériaux de dragage.

2. Une approche intégrée est essentielle. Elle inclut une démarche par paliers au cours desquels les éléments ci-après sont évalués selon l'ordre de succession suivant:

- propriétés physiques;
- propriétés chimiques;
- propriétés et effets biologiques.

A chacun des paliers, 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. Un complément d'information déterminé par les conditions locales peut éventuellement venir étoffer chacun des paliers.

3. A titre de préliminaire au plan d'analyse par paliers, les renseignements requis par la section 4.1 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'exemption visés au paragraphe 4.9. des lignes directrices, les matériaux ne nécessiteront aucune autre analyse.

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

5. L'analyse devrait être effectuée sur la fraction du sédiment (# 2 mm).

Palier 1: PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

En plus de l'évaluation préliminaire des caractéristiques des sédiments, telle que requise par le paragraphe 4.1 des présentes lignes directrices, il est vivement recommandé de procéder aux déterminations suivantes:

- granulométrie (% sable, limon, argile);
- taux d'humidité (%);
- quantité de matière organique.

Palier II: PROPRIETES CHIMIQUES

Paramètres du groupe primaire

Dans tous les cas où une analyse chimique est exigée, des concentrations des métaux en traces suivants devront être déterminées:

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

Dans certains cas, l'analyse peut également porter sur d'autres polluants métalliques. Dans le cas du mercure, une attention particulière sera portée à la spéciation.

S'il y a lieu d'effectuer l'analyse dans la matière sèche, il faut tenir compte du rapport poids frais/poids sec, et effectuer ainsi l'analyse dans l'eau interstitielle.

Dans le contexte de l'étude des tendances toxicologiques du sédiment dragué contaminé, l'analyse doit également porter sur l'eau de lixiviation, avant l'opération d'immersion. Enfin, il sera procédé au dosage du carbone organique total.

Concernant les polluants organiques, il sera procédé à une estimation de la teneur en PCB totaux. Si les conditions locales l'exigent, l'analyse doit être étendue aux familles de congénères.

Dans tous les cas, l'analyse doit être impérativement effectuée sur la fraction du sédiment # 2 mm.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA), les composés de tributylétain (TBT) et leurs produits de dégradation, devront aussi être dosés.

Le dosage des PCB, des HPA et du TBT ne sera pas nécessaire dans les cas suivants:

- les informations tirées d'études antérieures suffisent à prouver qu'il n'y a pas de contamination ;
- il n'y a pas de sources significatives (ponctuelles ou diffuses) de contamination, ni d'apports historiques;
- les sédiments sont essentiellement grossiers; et
- les teneurs en carbone organique total sont faibles.

Paramètres du groupe secondaire:

Compte tenu des renseignements locaux sur les sources de contamination (sources ponctuelles ou sources diffuses) ou des apports historiques, il peut s'avérer nécessaire de mesurer d'autres paramètres, comme par exemple: arsenic; pesticides organophosphorés; pesticides organochlorés; composés organostanniques; dibenzodioxines polychlorées (PCDD), dibenzofuranes polychlorés (PCDF).

Palier III: PROPRIÉTÉS ET EFFETS BIOLOGIQUES

Dans un grand nombre de cas, les propriétés physiques et chimiques ne permettent pas de mesurer directement l'impact biologique. De plus, elles ne permettent pas non plus de déterminer de manière adéquate tous les bouleversements physiques ni les constituants associés aux sédiments présents dans le matériau de dragage.

Si les impacts potentiels du matériau de dragage devant être immergé ne peuvent être jugés convenablement à partir de la caractérisation chimique et physique, il convient alors de procéder à des mesures biologiques.

1. Analyses biologiques de la toxicité

Les analyses biologiques de la toxicité ont pour principal but d'obtenir des mesures directes des effets de tous les constituants des sédiments agissant de concert, ceci en tenant compte de leur biodisponibilité. Pour classer la toxicité aiguë des sédiments portuaires avant les dragages d'entretien, il suffit souvent de pratiquer des analyses biologiques sur une brève durée:

- C Pour pouvoir apprécier les effets du matériau de dragage, des analyses biologiques de la toxicité aiguë peuvent être effectuées sur de l'eau interstitielle, sur un éluat ou sur le sédiment entier. D'une manière générale, une série de 2 à 4 analyses biologiques est conseillée, sur des organismes de divers groupes d'espèces (p. ex. crustacés, mollusques, polychètes, bactéries, échinodermes)

- C Dans la plupart des analyses biologiques, c'est la survie de l'espèce testée qui sert d'étalon en dernier ressort. Les analyses biologiques de la chronicité, avec un étalon sublétal (croissance, reproduction, etc.) portant sur une partie significative du cycle de vie de l'espèce testée permettent parfois de prédire de façon plus précise l'impact potentiel des opérations de dragage. Toutefois, les procédures d'analyse normalisées sont encore en cours de mise au point.

Le résultat des analyses biologiques des sédiments peut être indûment influencé par des facteurs autres que les produits chimiques présents dans les sédiments. Des facteurs de confusion, tels que l'ammoniac, l'acide hydrosulfurique, la granulométrie, la teneur en oxygène et le pH doivent par conséquent être déterminés pendant l'analyse.

Des orientations sur le choix des organismes tests appropriés, ainsi que sur l'utilisation et l'interprétation des résultats des analyses biologiques des sédiments, sont données par exemple par l'EPA/CE (1991/1994) et par l'IADC/CEDA (1997), tandis que l'ASTM (1994) donne de son côté des indications sur l'échantillonnage des sédiments destinés aux analyses toxicologiques.

2. Traceurs biologiques

Les traceurs biologiques permettent parfois d'être avertis à un stade précoce de phénomènes (biochimiques) plus subtils à des niveaux de contamination faibles et persistants. Bien que pour la plupart, les traceurs biologiques soient en cours de mise au point, certains d'entre eux peuvent être exploités systématiquement sur le matériau de dragage (p. ex. un traceur qui mesure la présence de composés analogues aux dioxines - Murk *et al.*, 1997) ou sur des organismes recueillis sur le terrain (p. ex. fibres d'ADN et leur cassure chez le poisson plat).

3. Expériences sur le microcosme

Il existe des méthodes d'analyse rapide du microcosme, afin de mesurer la tolérance de la communauté à une substance toxique, comme par exemple sa tolérance à la pollution induite dans une communauté (Pollution Induced Community Tolerance (PICT) (Gustavson et Wangberg, 1995).

4. Expériences sur le mésocosme

En raison de la lourdeur des frais qu'elles entraînent et du temps qu'elles prennent, ces expériences ne peuvent être faites aux fins de l'octroi des permis; elles sont cependant utiles dans les cas où l'extrapolation des analyses *in vitro* aux conditions sur le terrain est complexe ou quand les conditions environnementales sont très variables et gênent la détection des effets toxiques en tant que tels. Les résultats de ces expériences sont alors disponibles pour les décisions à prendre dans l'avenir quant aux permis.

5. Observation des communautés benthiques sur le terrain

La surveillance *in situ* des communautés benthiques (poisson, invertébrés benthiques) au voisinage de la zone d'immersion, permet d'obtenir d'importantes indications sur l'état des sédiments marins. Les observations sur le terrain permettent aussi d'avoir une vue approfondie de l'impact combiné des perturbations physiques et de la contamination chimique. Il existe des lignes directrices portant sur la surveillance des communautés benthiques, par exemple celles de la Convention de Paris ou du CIEM.

6. Autres propriétés biologiques

S'il y a lieu, d'autres mesures biologiques peuvent être pratiquées afin de déterminer, par exemple, le potentiel de bioaccumulation ou de dénaturation du goût.

RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

Les renseignements complémentaires éventuellement nécessaires seront déterminés par les conditions locales et peuvent constituer une partie essentielle de la décision de gestion. Les données correspondantes pourraient être par exemple : 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 polluants²

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 particulaire et, en conséquence, ils s'enrichissent dans les sédiments du fond des estuaires et des zones côtières. Dans la pratique, les substances naturelles et anthropiques 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 anthropiques 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 établir un bilan sur la présence ou l'absence de teneurs anormales en polluants. La concentration à partir de laquelle 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 oxy-

² Extrait de 1989 ACMP Report (Section 14) ICES Coop.Res.Rep.167, pp 68-76.

hydroxydes 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.

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 disponibles 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. Procédures d'analyse

La figure 2 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 Fractions 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. Procédures 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 oxyhydroxydes 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 particuliers sédimentaires (voir ci-après). Il peut être considéré comme un élément majeur de type stable, non affecté dans de fortes proportions par les processus diagénétiques précoces, par exemple, ainsi que par les puissants effets du potentiel rédox 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 rédox 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 1 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:

$$E_{\text{croûte}} = (X/Al)_{\text{séd.}} / (X/Al)_{\text{croûte}}$$

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.

Il a été 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 anthropiques.

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. Conclusions

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 R. Chesselet (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., J. Mattsson et A. Lindskog (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 1972.1 Université de Göteborg, Département de Géologie Mahne, Rapport NE 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)
- Gustavson, K. et S.A. Wangberg (1995), Tolerance induction and succession in microalgae communities exposed to copper and atrazine. (Induction de la tolérance et succession dans des communautés de microalgues exposées au cuivre et à l'atrazine). *Aquat.Toxicol.*, 32:283-302
- 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 M. Whitfield (1983), River input of chemical elements to the ocean (Apports fluviaux d'éléments chimiques à l'océan). In: Trace Metals in Sea-Water, edited by C.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton and E.D. Goldberg. Plenum Press, New York et Londres. pp.265-296
- Windom, H.L., S.J. Schropp, F.D. Calder, J.D. Ryan, R.G. Smith Jr., L.C. Bumeby, F.G. Lewis, et C.H. Rawlinson (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

ANNEXE TECHNIQUE 3

CONSIDÉRATIONS

AVANT TOUTE OPÉRATION DE DÉLIVRANCE D'UN PERMIS D'IMMERSION

Cette annexe technique a été préparée en ayant présent à l'esprit que, bien que les Lignes directrices s'appliquent uniquement à l'immersion des matériaux de dragage, les Parties contractantes sont fortement incitées à examiner toutes les méthodes d'élimination autres que l'immersion (par ex. l'élimination à terre), et d'explorer toutes les possibilités d'utilisation et de valorisation des matériaux dragués, avant de décider de l'octroi d'un permis d'immersion (voir Partie A, para. 2). Le but de cette Annexe technique n'est pas de balayer toutes les possibilités offertes par les différentes techniques, mais de donner quelques indications à leur sujet.

I. UTILISATION VALORISANTE DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

Les matériaux provenant des dragages de travaux neufs sont souvent utilisés pour la construction. Ce n'est, cependant, généralement pas le cas des matériaux de dragage provenant des dragages d'entretien. Quoiqu'il en soit, si le matériau de dragage est propre ou faiblement contaminé, il peut être considéré comme une ressource de valeur et, par voie de conséquence, être considéré pour une utilisation valorisante. Cependant; avant de choisir une utilisation valorisante spécifique, il est nécessaire d'effectuer une analyse coût/bénéfice pour établir que le coût de l'option retenue n'est pas prohibitif (Principe BATNEEC : Best available

techniques not entailing excessive costs). .

Selon sa composition et sa granulométrie, le matériau de dragage peut être utilisé avec profit pour la construction ou l'amélioration de l'environnement.

Utilisations aux fins de construction

Généralement, ces usages sont situés dans les zones côtières ou adjacentes à celles-ci, ou sur les berges des voies navigables. Citons, pour exemple, la création de terrains, l'amendement de terres, l'engraissement de plages, la formation de banquettes au large, la construction de barrages ou de digues, le remblaiement d'excavations (restauration de carrières de matériaux de construction désaffectés, remblayage de canaux et de bassins portuaires désaffectés, ...).

Amélioration de l'environnement

De nombreuses applications des matériaux de dragage pour l'amélioration de l'environnement peuvent être envisagées. Celles-ci vont de la restauration et de la création de zones humides au développement de sites multi fonctions, y compris la restauration et la création d'habitats terrestres, d'îles destinées à la nidification, et de pêcheries. Elles comprennent également la construction de récifs artificiels, particulièrement si le matériau de dragage est volumineux (par exemple, des rochers) (Toute construction de récifs artificiels, cependant, devrait être précédé d'une étude spécifique de l'impact de la structure sur l'environnement marin : dans ce cas, l'avis de biologistes spécialisés dans les pêches est essentiel) . Dans tous les cas, au cours et après l'exécution du projet, l'impact et les résultats de l'utilisation valorisante devraient faire l'objet d'un contrôle continu.

Pour évaluer les possibilités en matière d'utilisation valorisante des matériaux dans des situations spécifiques, les paramètres suivants doivent être pris en considération : caractérisation physique, état des contaminants, options en matière d'utilisation valorisante, sélection du site, faisabilité technique, acceptabilité sur le plan réglementaire, analyses coût/bénéfice.

Si lorsqu'on envisage les possibilités autres que l'immersion, aucune solution acceptable en matière d'utilisation valorisante est trouvée, les options demeurent l'élimination et/ou le traitement à terre.

II. ÉLIMINATION A TERRE

Lorsque, en matière d'options, ni la "relocalisation durable" ni l' "utilisation valorisante" ne s'avèrent appropriées, l'élimination à terre dans des installations confinées est la seule option qui demeure.

En principe, les sites d'élimination confinés situés à terre sont préférés pour les matériaux de dragage pollués qui ne conviennent pas à une élimination en pleine eau.

Différentes configurations sont possibles mais aucune ne présente une complète garantie contre les risques de pollution environnementale. Les possibles voies, facteurs de risque, sont les suivantes : les effluents exprimés à partir des sites d'élimination, au cours et après le dépôt ; le lessivage et le transport des contaminants dans les eaux souterraines et de surface avoisinantes ; l'ingestion par les animaux et les plantes, les émissions de poussière et de gaz, et les affaissements.

Les effets potentiels de tels sites dépendent à la fois des caractéristiques du site et de ses environs (principalement concernant la situation de la nappe phréatique), et des caractéristiques des matériaux de dragage, y compris les contaminants qui y sont présents.

Pour minimiser le transport par advection et diffusion des contaminants dans la nappe phréatique et l'eau de surface environnante, l'application de couches isolantes ou une gestion hydrologique doivent être considérés. Le traitement de l'eau en excès résultant de l'expulsion de l'eau du matériau de dragage après tassement, doit aussi être pris en considération.

III. TRAITEMENT DES MATÉRIAUX DE DRAGAGE

Le traitement est défini comme le moyen de réduire le volume de matériaux contaminés (par ex. par séparation) ou de réduire la contamination pour satisfaire aux normes et aux critères de nature réglementaire.

Les procédés de traitement peuvent être généralement classés comme suit :

- Prétraitement. Le prétraitement a pour objet de réduire le volume de matériaux de dragage qui nécessiteront un traitement ou une élimination ultérieurs et d'améliorer la qualité physique du matériau pour manipulation et traitement ultérieurs ; les principales catégories de prétraitement sont : l'assèchement, la séparation granulométrique, le lavage, la séparation gravimétrique, la séparation magnétique
- Traitement biologique (dégradation des substances organiques par les micro-organismes) ;
- Traitement chimique (réajustement du pH, oxydation, échange ionique etc.) ; les catégories de traitement chimique sont : la destruction et l'extraction des matières organiques, l'extraction des métaux ;
- Traitement thermique (désorption thermique, incinération, réduction thermique et vitrification) (Dans cette catégorie, la plupart des technologies donnent un produit comme des graviers ou des briques qui peuvent être utilisés comme matériau de construction);
- Traitement par immobilisation (en liant chimiquement les contaminants aux particules solides - fixation - or en empêchant physiquement la migration des contaminants - solidification).
- Prétraitement de l'eau en excès.

Le coût du traitement est généralement plus élevé, parfois considérablement plus élevé, que le coût de l'élimination. Le rapport coût/efficacité est une des plus importantes questions auxquelles auront à faire face toute autorité nationale de contrôle.

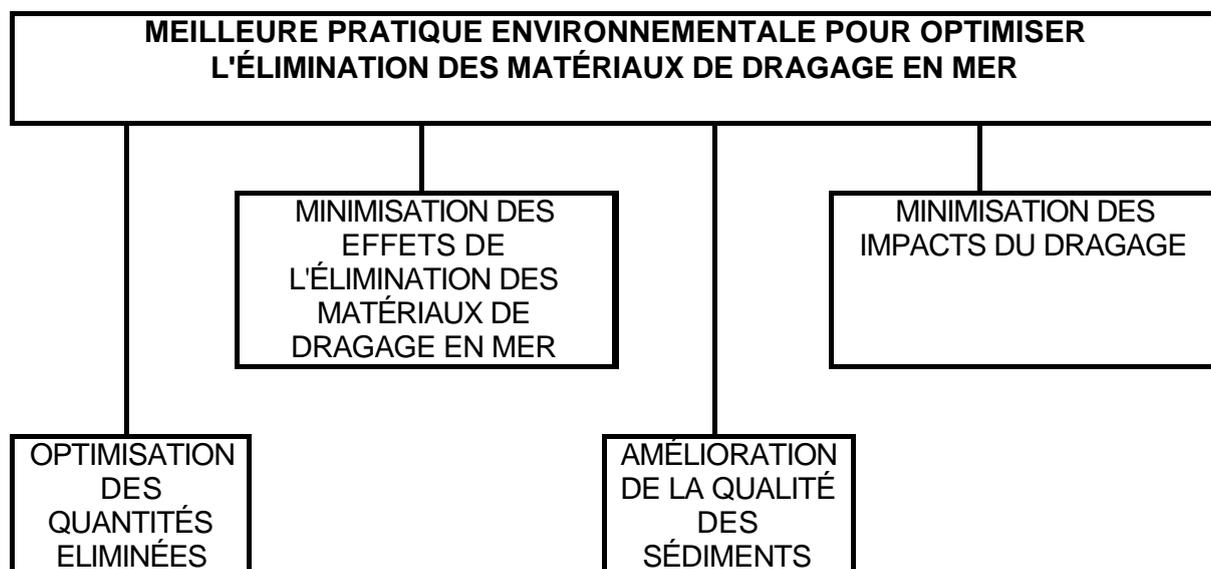
ANNEXE TECHNIQUE NE 4

MEILLEURE PRATIQUE ENVIRONNEMENTALE EN MATIÈRE DE DRAGAGES (MPE)

La présente annexe technique a été élaborée en tenant compte du fait que, bien qu'à strictement parler, les lignes directrices ne s'appliquent qu'à l'élimination des matériaux de dragage, les Parties contractantes sont incitées à exercer également un contrôle sur les opérations de dragage elles-mêmes.

Le but de la présente annexe est de donner des orientations, aux autorités nationales de tutelle, aux exploitants des dragues et aux autorités portuaires, sur la façon de minimiser les effets que les opérations de dragage et d'élimination ont sur l'environnement. Une évaluation et une planification attentives des opérations de dragage s'imposent pour minimiser les impacts sur les espèces et les habitats marins.

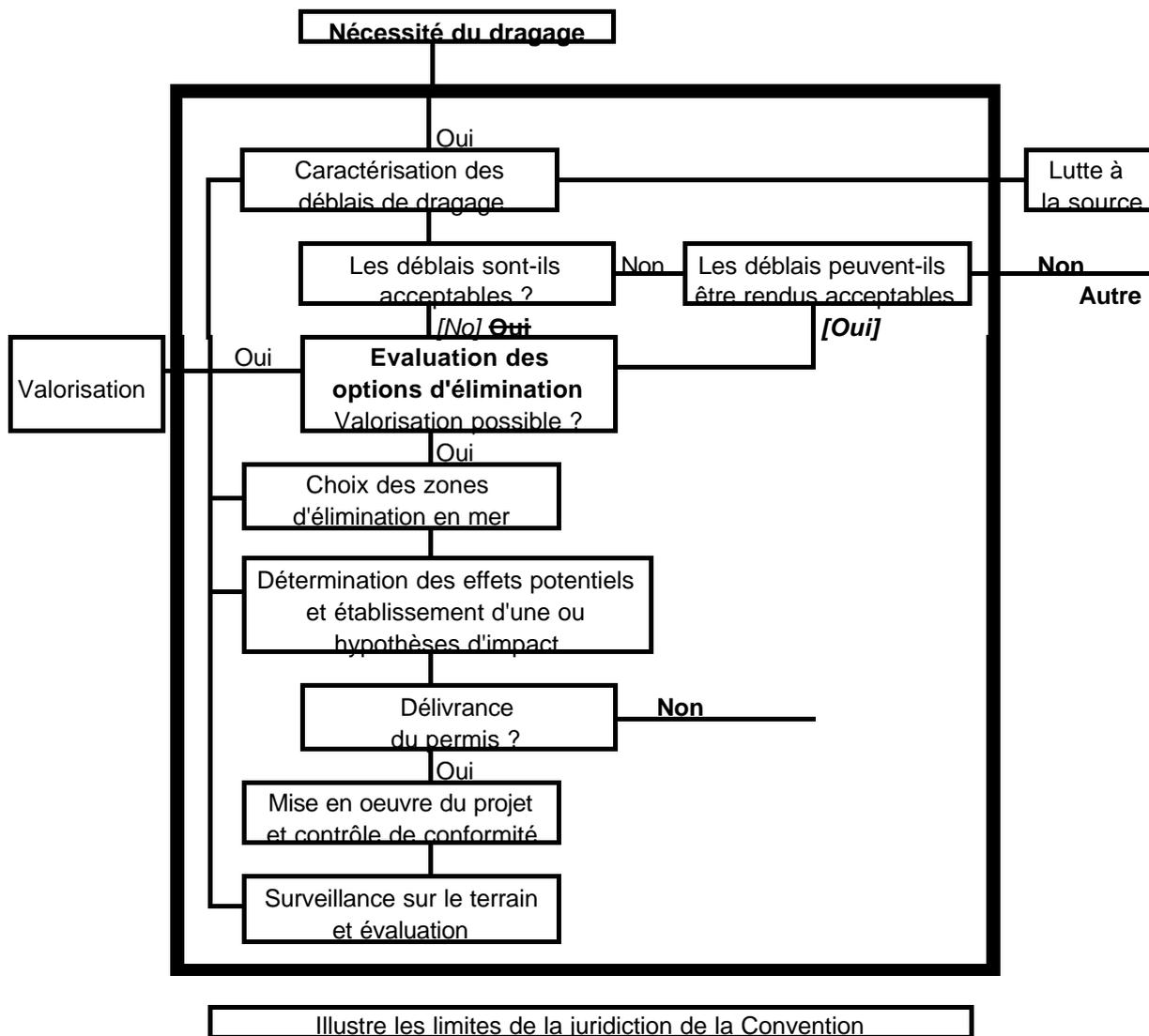
Les éléments indiqués comme la MPE sous les diverses têtes de chapitres de la présente annexe sont donnés à titre d'exemples. Leur applicabilité varie en général en fonction des conditions propres à chacune des opérations, et il est clair que d'autres stratégies sont susceptibles d'être applicables. On trouvera des renseignements approfondis sur les techniques et les procédés de dragage dans [Aspects environnementaux du dragage, Guide 4: Dragage, transport, équipement, techniques et procédés d'élimination. IADC/CEDA] (*sous presse*).



Point A - La "Minimisation des effets de l'élimination des matériaux de dragage" est décrite de manière très complète dans le corps du texte des présentes lignes directrices.

Point B - "Optimisation des quantités éliminées", **Point C**, ou "Amélioration de la qualité des sédiments" et **Point D**, "Minimisation des impacts du dragage" : ces points ne tombent pas rigoureusement sous le coup du mandat de la Commission d'Oslo; en revanche, ils concernent très directement la prévention de la pollution du milieu marin, telle que résultant de l'élimination des matériaux de dragage. Des descriptions des MPE relatives à ces activités figurent dans les appendices I et II.

Figure 1 : CADRE POUR L'ÉVALUATION DES DÉBLAIS DE DRAGAGE



**Figure 2 : STRATÉGIE TYPIQUE DE DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES
PHYSIQUES
ET CHIMIQUES DES SÉDIMENTS MARINS**

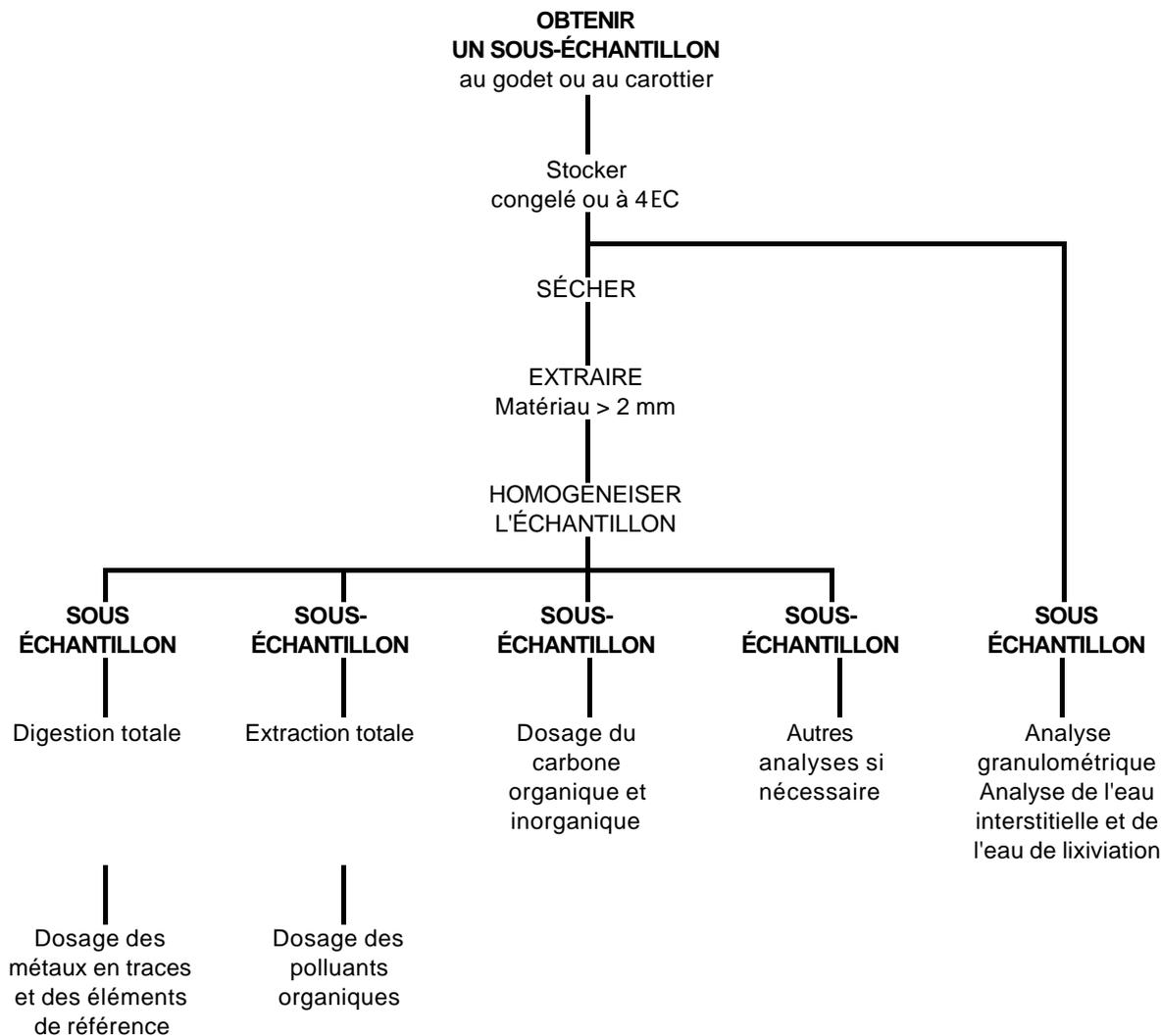


Tableau 1 : RÉSUMÉ DES FACTEURS DE NORMALISATION

| FACTEUR DE NORMALISATION | GRANULOMETRIE (Fm) | INDICATEUR | ROLE |
|--------------------------|--------------------|--|--|
| <u>Texturel</u> | | | |
| Sables | 2000 à 63 | Minéraux/composés grossiers pauvres en métaux | Détermine la distribution physique et le profil de sédimentation des métaux Diluent en général les teneurs en métaux-trace |
| Boues | < 63 | Minéraux/composés vecteurs de métaux, granulométrie | 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/argile, minéraux lourds riches en Fe et Mn 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. |