



GRUPE D'ETUDES ET D'OBSERVATION  
SUR LES DRAGAGES ET L'ENVIRONNEMENT



avec la collaboration du MEDDE

# Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion

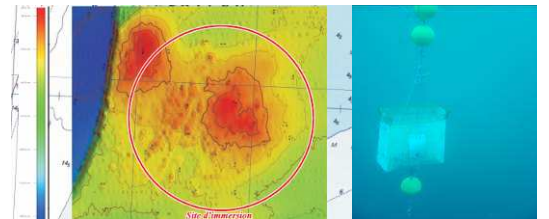
## Annexe 3 : Critères d'évaluation des contextes de projet

Décembre 2012





GEODE



Guide rédigé par



En association avec





# Sommaire

Préambule .....	5
<b>Chapitre 1 - Typologie des sites de projet .....</b>	<b>6</b>
1 Contexte géographique et administratif .....	6
2 Milieu physique .....	7
3 Faune, flore et biodiversité .....	9
4 Activités, usages et cadre de vie.....	10
<b>Chapitre 2 - Critères spécifiques des projets .....</b>	<b>12</b>
1 <b>Qualité des matériaux .....</b>	<b>12</b>
1.1 <b>Qualité physico-chimique .....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Granulométrie (% fractions granulométriques) .....	12
1.1.2 Aluminium (Al) .....	14
1.1.3 La matière organique .....	14
1.1.4 Les nutriments.....	15
1.2 <b>Cas particulier des contaminants chimiques et organiques.....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Les éléments traces .....	16
1.2.2 Les organiques.....	20
1.2.3 Les organométalliques .....	21
1.2.4 Paramètres supplémentaires de la DCE .....	22
1.2.5 Synthèse sur la toxicité des contaminants.....	28
1.3 <b>Qualité microbiologique .....</b>	<b>31</b>
1.3.1 Bactéries .....	32
1.3.2 Virus .....	34
1.3.3 Les germes indicateurs .....	35
1.4 <b>Qualité phytoplanktonique .....</b>	<b>37</b>
1.4.1 <i>Alexandrium minutum</i> .....	37
1.4.2 <i>Prorocentrum minimum</i> .....	39
1.4.3 <i>Dinophysis</i> sp. ....	40
1.5 <b>Macro-déchets.....</b>	<b>41</b>
1.6 <b>Activités radiologiques .....</b>	<b>42</b>
2 <b>Quantités de matériaux.....</b>	<b>45</b>
2.1 <b>Surface et profondeur d'extraction sur les sites de dragage .....</b>	<b>45</b>
2.2 <b>Surface et épaisseur de dépôt sur les sites d'immersion .....</b>	<b>45</b>
2.3 <b>Volume de matériaux et flux polluants .....</b>	<b>46</b>
3 <b>Outils de dragage .....</b>	<b>47</b>
4 <b>Critère spécifique de milieu : le régime hydro-sédimentaire .....</b>	<b>49</b>
4.1 <b>Dispersion des matières en suspension .....</b>	<b>49</b>
4.2 <b>Qualité ambiante des eaux – Taux de matières en suspension.....</b>	<b>49</b>
4.3 <b>Dynamique du transit sédimentaire .....</b>	<b>50</b>



## Liste des figures

Figure 1 : Triangle des textures .....	13
Figure 2 : Substances des listes I et II de la Directive 76/464 et prioritaires de la DCE.....	22
Figure 3 : <i>Alexandrium sp.</i> (Source : Ifremer).....	37
Figure 4 : <i>Prorocentrum minimum</i> (Source : Ifremer) .....	39
Figure 5 : <i>Dinophysis sp.</i> (Source : Ifremer).....	40
Figure 7 : Origine des radioéléments susceptibles d'être présents dans l'hydrosystème.....	43
Figure 6 : Rayonnement et périodes des principaux radioéléments .....	44

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des éléments descriptifs du contexte géographique et administratif .....	6
Tableau 2 : Liste des éléments descriptifs du contexte physique du projet .....	7
Tableau 3 : Liste des éléments descriptifs du contexte écologique du projet .....	9
Tableau 4 : Liste des éléments descriptifs du contexte socio-économique du projet .....	10
Tableau 5 : Classes granulométriques .....	13
Tableau 6 : Classes de sédiments.....	13
Tableau 7 : Synthèse des seuils de toxicité disponibles pour les principaux contaminants.....	28
Tableau 8 : Rapport CS/ SF pour la connaissance de l'origine de la contamination fécale. ....	36



# Préambule

---

L'évaluation environnementale d'opérations de dragage et d'immersion et la mise en œuvre de suivis éventuels nécessitent une connaissance de la typologie des zones de travaux et des caractéristiques techniques des opérations elles mêmes. Ces connaissances doivent permettre d'analyser avec suffisamment de précision le contexte du projet afin de déterminer les principaux enjeux environnementaux, les vecteurs potentiels d'impact, et les opportunités de suivis associés.

Cette annexe technique présente :

- Une liste de critères utiles à la description des zones de projet ainsi que les sources d'information utiles pour renseigner ces critères. Les besoins éventuels d'investigations terrain complémentaires sont présentés ;
- Les critères techniques de projet agissant sur les enjeux environnementaux :
  - Volumes de matériaux extraits et immergés ;
  - Qualité physico-chimique et biologique des matériaux extraits ;
  - Techniques de dragage.
- Les critères hydrodynamiques spécifiques à prendre en compte pour évaluer la sensibilité des sites aux différents mécanismes d'impacts préalablement identifiés.



# Chapitre 1 - Typologie des sites de projet

Les tableaux suivants dressent l'inventaire des informations à collecter par grande thématique en précisant les sources de données disponibles et celles qui peuvent justifier de campagnes d'investigation complémentaires. On rappelle néanmoins que l'ensemble de ces informations et leur interprétation doivent figurer pour partie dans le document d'évaluation environnementale du projet (étude d'impact valant document d'incidences sur l'eau et, le cas échéant dossier d'incidences Natura 2000).

## 1 Contexte géographique et administratif

Ces données permettent de placer le projet par rapport aux principales contraintes réglementaires et administratives pouvant exister sur le ou les sites de travaux (documents de planification territoriale, zones d'activités spécifiques, espaces naturels réglementés, etc). Les grands documents d'orientation type SDAGE seront également consultés pour définir la compatibilité du projet avec ces documents. Cet ensemble de données est susceptible de fournir des indications précieuses sur les grands enjeux environnementaux et les attentes des autorités et collectivités locales en matière d'évaluation et de suivis d'impact.

**Tableau 1 : Liste des éléments descriptifs du contexte géographique et administratif**

Thème	Données recherchées	Méthodes et sources d'information
Localisation des aires de dragage et des aires d'immersion	Coordonnées en WGS 84 et Lambert II	Données de projet définies par le maître d'ouvrage
Compatibilité avec les politiques de l'eau	Orientations fondamentales et potentielles déclinaisons locales des SDAGE (Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux), des SAGE (Schéma d'aménagement et de gestion des eaux) éventuellement en place.	SDAGE (portails internet des agences de l'eau) SAGE : structures spécifiques de gestion et d'animation
Compatibilité avec les orientations d'utilisation actuelle et future du territoire	Orientations fondamentales et potentielles déclinaisons locales des politiques, schémas et règlements régionaux et communaux de développement et d'aménagement : DTADD, schémas de mise en valeur de la mer, SCoT et volets littoraux éventuels, PLU etc.	Etat, collectivités territoriales, et communes, intercommunalités
Contraintes foncières et servitudes réglementaires	Statut de propriété des aires de chantier et servitudes réglementaires terrestres et maritimes	POS/PLU, cartes communales (collectivités territoriales, communes) Servitudes marines (direction inter-régionale de la mer (DIRM), directions régionales des affaires maritimes (DRAM))



## 2 Milieu physique

Une connaissance approfondie du milieu physique est nécessaire à une évaluation pertinente des impacts d'un projet de dragage ou d'immersion. Directement impacté par les opérations, il conditionne également l'étendue des incidences hors des périmètres immédiats des opérations de travaux.

**Tableau 2 : Liste des éléments descriptifs du contexte physique du projet**

Thème	Données recherchées	Méthodes et sources d'information
Cadre géographie et topographique	Cartes existantes (SHOM, IGN 1/25 000), photographies aériennes, relevés topographiques disponibles.	Institut Géographique National (IGN)
Cadre géologique	Géologie, hydrogéologie	Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) Agence de l'eau, sites du portail eaufrance (ww.eaufrance.fr)
Météorologie / Climat	Températures, précipitations, vents	Météo France
Conditions océanographiques	Hydrodynamisme (houle, marée, courantologie, apports fluviaux) Dynamique sédimentaire (zones d'érosion et d'accumulation, transport de sédiments) Bathymétrie	SHOM, Centre d'Archivage National de Données de la Houle (CANDHIS), Agences de l'eau, BRGM, IGN, relevés de terrains spécifiques
Sédimentologie	Structure sédimentaire : lithologie des dépôts meubles Granulométrie, teneurs en contaminants, teneurs en nutriments	Agence de l'eau, relevés de terrain spécifiques
Hydrologie	Réseau hydrographique Configuration des cours d'eau Caractéristiques des débits (crue, étiage et niveau moyen) Niveaux d'eau (crue, étiage et niveau moyen) Zones humides	Agences de l'eau, sites du portail eaufrance (ww.eaufrance.fr), Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL).
Qualité des eaux	Caractéristiques physiques (matière en suspension, turbidité, transparence), teneurs en contaminants chimiques et bactériologiques	Agence de l'eau, sites du portail eaufrance (ww.eaufrance.fr), Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM), relevés de terrains spécifiques
Risques naturels	Zones sensibles à l'érosion Zones sensibles aux mouvements de terrain Zones inondables	Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM), Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) préfetures, communes.



## Opportunités d'investigations spécifiques

### ↪ Bathymétrie et géomorphologie des fonds

Si les cartes marines existantes fournissent une première indication sur la bathymétrie et la géomorphologie des fonds, une caractérisation plus fine à l'échelle du site de projet est nécessaire pour pouvoir évaluer l'impact du projet sur ces composantes. Les levés sonar permettent également de caractériser les principaux faciès d'habitats. Ces relevés constituent par ailleurs un besoin pour la conception technique du projet (estimation des besoins de dragage et des volumes à extraire, estimation de la surface nécessaire pour l'immersion et des zones de moindre impact, etc.).

### ↪ Courantologie

Pour des projets de relativement grande envergure, la modélisation des courants peut s'avérer utile pour prédire l'impact des opérations sur la circulation des masses d'eau et les effets indirects sur les processus sédimentaires. La connaissance de la courantologie permet également d'appréhender le déplacement et la dispersion des panaches turbides issus des sites de dragage et d'immersion et le risque d'atteinte de secteurs sensibles.

La modélisation des courants nécessite de gros moyens, notamment pour l'acquisition de données de courants sur site. Elle n'est pas systématique dans le cadre d'un état initial et la pertinence d'en réaliser une doit être évaluée au cas par cas.

### ↪ Qualité des eaux

Si des enjeux d'usages ou d'habitats spécifiques sont mis en évidence à proximité des zones de dragage ou d'immersion, il convient de connaître la qualité des eaux dans la zone d'étude avant-projet pour pouvoir juger de l'enjeu d'altération associé au projet. La problématique des matières en suspension est par exemple moins prégnante dans les estuaires où les taux sont naturellement élevés du fait des matériaux véhiculés par les fleuves depuis les bassins versants.

Les réseaux de surveillance **microbiologique** et **chimique** des eaux existants sur les côtes françaises couvrent le territoire de manière relativement complète. Ceci limite le plus souvent la nécessité de procéder à des campagnes de caractérisation spécifiques pour ces paramètres.

**Les matières en suspension** sont par contre peu renseignées au-delà de prélèvements ponctuels. Naturellement présentes dans les eaux littorales, elles sont composées à la fois de particules minérales et d'éléments d'origine organique. Les particules minérales proviennent des apports terrigènes (bassins versants, fleuves et lagunes, émissaires de station d'épuration), mais aussi de la remise en suspension des sédiments marins sous l'effet de la houle. Les particules organiques correspondent notamment au plancton. Leur concentration dans les eaux peut ainsi fluctuer fortement en fonction des régions et des conditions climatiques et océanographiques. Seule une intégration à relativement long terme (d'ordre saisonnier voire annuel) peut fournir une référence naturelle pertinente en vue d'une comparaison de résultats de suivis.





### 3 Faune, flore et biodiversité

L'évaluation des enjeux de biodiversité passe par la description des espèces et des habitats présents sur les zones susceptibles d'être touchées par les opérations, de leur valeur patrimoniale et des sites faisant l'objet d'une gestion ou d'une protection particulière.

**Tableau 3 : Liste des éléments descriptifs du contexte écologique du projet**

Thème	Données recherchées	Méthodes et sources d'information
Faune, flore et biodiversité estuarienne et marine	Cartographie des habitats (type EUNIS) Inventaires faune / flore et autres données disponibles sur le plancton, les herbiers sous-marins et les algues, le benthos, les poissons et céphalopodes, les cétacés, les oiseaux marins Accorder une importance particulière aux espèces menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être ainsi désignées, et aux espèces d'intérêt économique et culturel.	DREAL Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) Associations naturalistes Agence des aires marines protégées Structures de gestion ou de protection spécifiques
Faune, flore et biodiversité terrestre	Cartographie des habitats (type EUNIS) Inventaires faune / flore et autres données disponibles sur les écosystèmes littoraux et estuariens terrestres (végétation, avifaune, chiroptères, etc.). Accorder une importance particulière aux espèces menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être ainsi désignées, et aux espèces d'intérêt économique et culturel.	DREAL MNHN Associations naturalistes Structures de gestion ou de protection spécifiques Relevés de terrains spécifiques
Périmètres de gestion concertée	Sites du réseau Natura 2000 : proposition de site d'intérêt communautaire (pSIC), site d'intérêt communautaire (SIC), zone spéciale de conservation (ZSC) ou zone de protection spéciale (ZPS) Réserve de pêche Parc naturel marin Réserve naturelle régionale ou nationale	DREAL Direction régionale de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt (DRAAF°) Conseil général
Périmètres d'inventaire	Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF) Zone d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO) Zone humide d'importance internationale (Ramsar)	DREAL
Périmètres de protection	Parc marin Arrêté préfectoral de protection de biotope (milieu terrestre)	DREAL DRAAF DDTM



### Opportunités d'investigations spécifiques

Etant donné l'effet direct des dragages et des immersions sur le compartiment sédimentaire, une caractérisation des invertébrés vivant en surface et dans le sédiment (**benthos**) sur les périmètres de travaux est nécessaire.

Une nuance peut néanmoins être apportée à cette préconisation systématique : l'intérêt de caractériser les peuplements sur une zone remaniée fréquemment dans le cadre de dragages d'entretien est limité.

Des investigations complémentaires sur l'avifaune ou certains peuplements ichthyologiques peuvent être réalisées selon la sensibilité des milieux, évalués en première approche en confrontant les données bibliographiques disponibles aux caractéristiques des travaux projetés.

## 4 Activités, usages et cadre de vie

L'analyse du contexte vise à identifier les activités et usages présents sur le territoire, leur organisation et leur sensibilité et les principaux mécanismes d'impact à considérer en fonction du projet projeté.

**Tableau 4 : Liste des éléments descriptifs du contexte socio-économique du projet**

Thème	Données recherchées	Méthodes et sources d'information
Navigation maritime	Type, densité, voies et itinéraires de déplacement, spécificités des ports (embouchures de cours d'eau dans les bassins, communication avec des zones lagunaires ou des zones sensibles...)	Préfecture maritime Cartes SHOM
Pêche professionnelle	Description de l'activité, flottilles, espèces cibles, quotas, zones cibles, zones sensibles (frayères et nourriceries)	comités de pêche et Prud'homies en Méditerranée / DDTM / DREAL
Cultures marines et pêche à pied	Equipements, filières exploitées, concessions, localisation de prises d'eau en mer, qualité des eaux et des productions.	ARS / IFREMER / DDTM / DREAL
Baignade et sports de glisse	Localisation des sites, période et intensité de fréquentation, usages spécifiques, qualité des eaux de baignade	Direction Régionale et Directions Départementales du tourisme Fédérations sportives et de loisirs Conseils généraux / ARS
Plaisance	Voies de navigation privilégiées, zones de mouillage et densité des navires, ports principaux et volume d'activités.	Services de capitainerie des ports Cartes SHOM Direction Régionale et Directions Départementales du tourisme DDTM / DREAL



## Opportunités d'investigations spécifiques

Les investigations se limitent généralement à des enquêtes auprès des acteurs clés. Quelques indications spécifiques peuvent être fournies pour la pêche.

### ↻ **Activité de pêche**

Les frayères et nourriceries sont des éléments-clés pour la dynamique des peuplements halieutiques. La littérature scientifique ou professionnelle est peu abondante sur le sujet, et aucune cartographie spécifique n'est établie. De plus, ces sites sont le plus souvent utilisés de façon temporaire par les poissons, ce qui ne facilite pas leur détection.

Aucun protocole standardisé n'existe pour les investigations sur les frayères et nourriceries en milieu marin. Des informations préalables sur leur existence potentielle doivent donc être recherchées auprès des acteurs de terrain, que sont les pêcheurs et les chasseurs sous-marins.

Pour les gisements coquilliers, des informations sur la présence d'espèces commerciales sur les sites de travaux sont déjà disponibles au travers des prélèvements de benthos le plus souvent réalisés pour la caractérisation de l'état initial des sites. Il est important d'estimer au mieux les populations en place avant les travaux et des pêches spécifiques peuvent être organisées dans ce but.

# Chapitre 2 - Critères spécifiques des projets

---

## 1 Qualité des matériaux

### 1.1 Qualité physico-chimique

Les matériaux concernés par les dragages, sont les sédiments non consolidés. Les opérations nécessitant des déroctages sont peu courantes et génèrent des matériaux dont la qualité physico-chimique n'est pas pris en compte dans les études avant travaux au regard du Code de l'Environnement et des textes d'application de la Loi sur l'Eau.

Les sédiments non consolidés peuvent présenter des caractéristiques physico-chimiques très différentes selon les charges minérales et organiques et les teneurs de leurs constituants, en particulier des contaminants. Par exemple, les parts siliceuses peuvent être très différentes, suivant la position du site à draguer sous l'influence d'apports côtiers dus à la latérisation du bassin versant ou sous celle de courants marins charriant des sables. Dans tous les cas, ces matériaux sont issus de la sédimentation de particules ayant été en suspension, et dont la part amorphe ou cristalline est composée d'argiles, d'hydroxydes et d'oxydes métalliques (principalement du fer et de l'aluminium), de quartz (silice), de carbonates, et de matières organiques animales et végétales en cours de dégradation.

#### 1.1.1 Granulométrie (% fractions granulométriques)

Les sédiments sont tout d'abord caractérisés par les répartitions des fractions granulométriques. Ces données sont importantes à double titre. Tout d'abord pour apprécier la charge en contaminants (capacités d'adsorption dépendantes des surfaces spécifiques) et ensuite pour prévoir le mode de dragage qui sera le plus approprié. Il convient toutefois de noter que la capacité en termes de charge est liée à ces surfaces mais que la présence de matières humiques contribue aussi à augmenter la fixation et l'adsorption des contaminants dans le matériau.

Les granulométries sont mesurées en laboratoire. Si plusieurs techniques sont disponibles pour les réaliser, les retours d'expériences indiquent que l'utilisation d'un granulomètre laser par voie humide après un dégrillage des fractions supérieures à 2 mm puis à 1 mm ou à 500 µm donne les résultats les plus fiables. La coupure à 2 mm étant imposée par les textes normatifs indiquant que les analyses doivent être menées sur les fractions inférieures à cette taille. Il est usuel de mesurer les pourcentages suivant des tailles qui sont : > 2 mm, et dans la partie inférieure à 2 mm, celles qui sont < 1 mm, < 500 µm, < 250 µm, < 125 µm, < 63 µm et enfin < 2 µm.

Les différentes désignations des matériaux suivant les tailles granulométriques sont indiquées dans le Tableau 5. Il est à noter que ces appellations et ces tailles diffèrent quelques peu suivant les thématiques.



**Tableau 5 : Classes granulométriques**

Désignation	Taille
blocs	+ de 10 cm
caillou, galets	+ de 2 cm
graviers	entre 0,5 - 2 cm
granules	entre 5 - 10 mm
sable très grossier	entre 2 - 5 mm
sable grossier	entre 1 - 2 mm
sable moyen	entre 0,5 - 1 mm
sable fin	entre 0,25 - 0,5 mm
sable très fin	entre 0,125 - 0,25 mm
sablon	entre 63 µm - 0,125 mm
Limons	entre 2 et 63µm
Argiles	inférieure à 2µm

Le ratio entre la fraction < 63 µm (limite entre les sables et les vases) et les fractions < 2 mm permet alors de nommer le sédiment (Tableau 6) :

**Tableau 6 : Classes de sédiments**

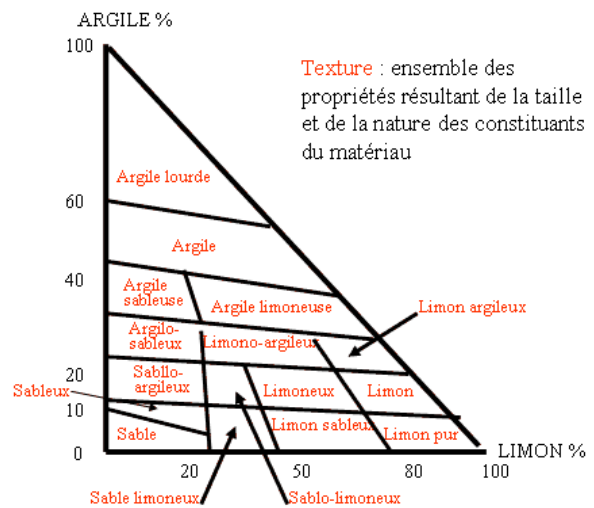
% fraction <63µm	Désignation
< 25	Sables
> 25	Sables vaseux
> 50	Vases sableuses
>75	Vases
> 90	Vases pures

Une interprétation plus précise des fractions fines (< 63 µm) peut être faite à partir du triangle de texture du GEPPA, cité par Hénin, Gras et Monnier (1969). Celui-ci est donc bâti à partir des mesures des fractions argileuses et limoneuses.

Comme nous l'indiquions précédemment, la connaissance de ces données permet d'anticiper sur les moyens qui seront mis en jeu pour le dragage. Ceci fait appel aux retours d'expériences des bureaux d'études et des opérateurs (dragueurs), les répartitions granulométriques vont renseigner sur les quantités (%) d'eau

qui seront contenues dans les matériaux. La densité est un des paramètres indiqués dans la Circulaire relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins et estuariens mais, à notre connaissance, réalisée par voie sèche ou humide, les résultats sont (presque) toujours inexploitable.

On peut considérer que les teneurs en eau sont proportionnelles à celles des fractions fines. Un matériau sableux aura peu d'eaux interstitielles (d'où souvent l'impossibilité de doser les sels nutritifs si ce n'est dans les eaux d'imprégnation) alors qu'un matériau vaseux sera « gorgé » d'eau. Toutefois, suivant les quantités de limons et d'argiles, la cohésion de ces matériaux fins sera à prendre en compte suivant que celui-ci présentera soit une grande cohésion (marne par exemple) ou une sorte de pulpe contenant des débris végétaux et animaux en décomposition.



**Figure 1 : Triangle des textures**



Les analyses visant à parfaire la connaissance des matériaux à draguer s'intéressent aux fractions inférieures à 2 mm, les préleveurs ont l'habitude, après l'avoir noté, de débarrasser l'échantillon des fractions plus grossières et tout du moins de celles qui ne rentrent pas dans le flaconnage mis à leur disposition. Seule une expertise de visu permet de prévoir le mode de dragage et notamment la nécessité de dégriller les matériaux avant qu'ils soient ensuite dirigés dans une filière de valorisation, de recyclage, de traitement ou d'élimination, voire même en prévision de leur transport sous forme brute (camion, bande transporteuse, ...).

#### 1.1.2 Aluminium (Al)

Hors apport spécifique, l'aluminium est généralement considéré comme un constituant naturel des argiles et donc représentatif des sédiments fins. Les teneurs sont très variables en fonction de la nature du fond et des apports par le bassin versant, les teneurs en Méditerranée varient de 2 000 mg/kg sec à 50 000 mg/kg sec suivant les zones.

On considère qu'un sédiment riche en aluminium adsorbera plus les contaminants qu'un sédiment pauvre en cet élément.

#### 1.1.3 La matière organique

##### **Carbone organique total (COT)**

En général, les sédiments fins et riches en carbone organique ont une forte capacité d'adsorption des contaminants organiques. Les teneurs en carbone organique correspondent au stock de matière organique carbonée déposée sur le fond et lié au sédiment. Elles s'expriment en % dans la fraction inférieure à 2 mm du matériau brut. Ses teneurs varient dans une large gamme qui est souvent en accord avec celle de la teneur en matière organique.

##### **Matière organique volatile à 550°C (MO 550°C)**

Anciennement appelée perte au feu à 550°C, cette teneur représente, comme son nom l'indique, la matière organique pouvant être dégradée à 550°C en condition oxydante. Cette teneur indique la part de matière organique en décomposition dans le sédiment. Les teneurs peuvent être comprises entre quelques pourcents et plus de 30 %.



#### 1.1.4 Les nutriments

##### **Azote (N)**

Les teneurs en azote caractérisent les concentrations des formes minérales (ammoniac, nitrites et nitrates) et organiques (acides aminées, protéines). Si les diverses formes sont dosables dans les eaux interstitielles, il est usuel et réglementaire de doser la teneur en azote Kjeldahl dans les sédiments. Cette concentration correspond aux formes ammoniacales et réduites organiques contenues dans les matériaux. Elle est le témoin d'apports principalement par les émissaires des eaux usées urbaines brutes ou traitées dans une moindre mesure, d'apports industriels chimiques et agro-alimentaires. Les composés azotés jouent un rôle important dans les développements algaux. A titre d'exemple, on a noté dans les sédiments d'une zone semi ouverte sur la mer, recueillant des rejets de zones aquacoles et divers émissaires drainant le bassin versant, une valeur en azote de 3 636 mg/kg poids sec. Les teneurs dosées ne dépassent généralement pas 2 000 mg/kg dans les zones portuaires. L'apport en azote peut être dommageable pour l'environnement si les conditions physico-chimiques et notamment le pH génèrent des formes ammoniacales.

##### **Phosphore (P)**

Les teneurs en phosphore représentent les concentrations de différentes formes chimiques. Il est usuel de doser les teneurs en ortho phosphates et en phosphore total dans les eaux libres ou interstitielles. Le phosphore oxydé dans les eaux se transforme préférentiellement, sous la forme acide, en composé ortho au détriment des formes méta et pyro. Dans les sédiments, seule la teneur en phosphore total est mesurée. Le phosphore joue un rôle essentiel dans le développement des algues et les formes assimilables peuvent être relarguées du sédiment et ainsi contribuer aux inflorescences végétales. Les teneurs en phosphore total, comme l'azote, sont, dans les zones draguées, de quelques centaines à quelques milliers de mg/kg.

#### 1.2 Cas particulier des contaminants chimiques et organiques

Les mesures in situ des paramètres usuels (température, potentiel hydrogène (pH), potentiel oxydo-réducteur (rédox), conductivité, salinité, teneurs en oxygène dissous, etc.) permettent d'émettre une première expertise sur l'état des sédiments en place.

En général, ces valeurs sont corrélées par les mesures granulométriques et les différences peuvent être évocatrices de dysfonctionnements. Un matériau sableux, dans lequel les eaux interstitielles et d'imprégnation circulent en relation avec la colonne d'eau supérieure vont présenter des valeurs proches de ces eaux, alors que dans le cas d'un sédiment vaseux très cohésif, le pH sera plus acide, la température plus élevée, le potentiel oxydo-réducteur plus négatif et la teneur en oxygène dissous très faible voire nulle. A titre d'exemple, un sédiment marin sableux dans lequel la température et la salinité sont inférieures à celles de la colonne d'eau est souvent imprégné par une nappe d'eau douce émergente.

Ces considérations sont à prendre en compte dans l'étude avant travaux, au même titre que les analyses organoleptiques qui leurs sont très souvent corrélées (très souvent mais pas toujours, car l'odeur d'un sédiment réduit est caractéristique mais peut aussi être masqué par celle d'hydrocarbures).



Les sédiments sont des matrices qui contiennent un certain nombre de contaminants. Parmi ceux-ci on citera les **métaux**, les **hydrocarbures aliphatiques et aromatiques**, certains **composés organiques** et principalement ceux issus de la chimie de synthèse. A la différence de ces produits purement anthropiques, les métaux et les hydrocarbures proviennent de l'écorce terrestre et sont naturellement présents. Toutefois, les usages et les apports par les bassins versants (urbains, industriels et agricoles) ont fait que ceux-ci se retrouvent dans des quantités anormalement élevées dans les zones portuaires et certains canaux qui sont les principaux sites de dragage. La remise en suspension et la propagation de ces matériaux peuvent engendrer des actions dommageables vis-à-vis de la faune et de la flore sous l'influence des dragages.

Il est courant d'avoir des teneurs en certains métaux qui indiquent l'importance et la récurrence des apports par les usages. C'est principalement le cas des teneurs en cuivre dans les ports de plaisance en raison des peintures antisalissures dont ce métal est le biocide actif, mais aussi des teneurs en zinc en raison de la dissolution des anodes sacrificielles des bateaux, etc. De même, l'utilisation de carburants fossiles et d'huile de synthèse se traduit par des élévations des teneurs en hydrocarbures principalement poly-aromatiques essentiellement lors des rejets des eaux de cales sans aucune précaution.

La dangerosité, ou non, des sédiments ne paraît pas être directement liée aux teneurs en métaux et autres contaminants. Les **tests H14** permettant d'évaluer cette sévérité des matériaux sont réalisés sur les eaux interstitielles et indiquent bien que dangerosité et concentration ne sont pas dépendantes. **La connaissance des biodisponibilités des contaminants, soit leurs capacités à être relargués sous une ou des formes assimilables par la faune et la flore est pertinente pour juger de la dangerosité des matériaux.**

On rappellera que contrairement aux métaux dont la toxicité est directement liée à la chimie réactionnelle avec les cellules vivantes, les hydrocarbures peuvent aussi avoir un effet dommageable en bloquant physiquement les processus de respiration des animaux et des végétaux, voire de permettre à d'autres contaminants d'exprimer leur toxicité.

Ces caractéristiques sont dépendantes de la zone investiguée pour les dragages, et trouvent des dénominateurs communs suivant que l'on s'intéresse à des ports de plaisance, de commerce ou des canaux de navigation ou des lagunes industrielles. Ainsi les sédiments portuaires présentent fréquemment des teneurs remarquables en métaux dont zinc, cuivre, plomb, etc., en hydrocarbures avec des teneurs importantes en matières organiques et en nutriments pour la plaisance, et des contaminations spécifiques pour les ports de commerce (vracs de minerai, charbon, ...). Les sédiments fluviaux sont quant à eux plus marqués par les apports des bassins versants agricoles et industriels avec des teneurs en métaux plus spécifiquement utilisés dans les biocides et les produits de la chimie de synthèse. Enfin les sédiments de bassins ou de lagunes industrielles ont, en général, des spécificités propres aux rejets.

### 1.2.1 Les éléments traces

Les concentrations élevées en métal total ne sont qu'une indication sur les apports ou le fond géochimique local et ne sauraient présumer de la toxicité due à cette présence. La notion de biodisponibilité du métal est importante et la spéciation doit être faite pour estimer l'impact que celui-ci ou ceux-ci peuvent avoir sur les milieux en général et aquatiques en particulier.





### **Arsenic (As)**

Il est présent naturellement dans les sols à l'état de traces, mais il est associé sous forme de sulfures à de nombreux minerais (fer, cuivre, plomb, zinc,...) dont l'extraction, le transport et le traitement métallurgique contribuent à sa dissémination dans le milieu environnant. L'arsenic est alors un sous-produit peu valorisable que l'on retrouve dans les rejets liquides ou solides et dans les émissions atmosphériques. Il est utilisé dans des préparations phytosanitaires et l'industrie du verre. La combustion du charbon est aussi une source majeure d'apport. Son utilisation, au cours des précédentes décennies dans les pesticides utilisés en agriculture est encore de nos jours décelable dans les analyses de sédiments aux exutoires de fleuves drainant des bassins versants viticoles. A titre d'exemple, dans une commune du Var, des teneurs de l'ordre de 32 mg/kg de sédiment poids sec ont été dosées au droit d'un fleuve en aval de coteaux. Ces teneurs qui indiquent un apport réel sont à mettre au regard de celles qui sont dosées dans des sites sur lesquels des exploitations de minerais ont été réalisées et au droit desquelles les concentrations sont cent fois plus élevées.

### **Cadmium (Cd)**

Le cadmium n'existe pas à l'état natif. Son minerai, très rare, est un sulfure, la greenockite (CdS), mais on le rencontre dans presque tous les minerais de zinc et il est exploité industriellement comme un sous-produit de la métallurgie du zinc. Il est principalement utilisé pour la fabrication de batteries et le traitement de surface des aciers (revêtements anticorrosion). Il est également employé pour la décoration des porcelaines, en peinture, en caoutchouterie, en émaillerie et pour la fabrication d'antiseptique. Les teneurs dépassent rarement les valeurs seuils et principalement celle de 2,4 mg/kg poids sec.

### **Chrome (Cr)**

Le chrome fait partie des métaux les plus utilisés (10 millions de tonnes/an) dans le monde (industrie chimique, métallurgie, technologie des réfractaires). La majeure partie du chrome parvenant à la mer depuis le continent provient des fleuves, l'atmosphère constituant une source beaucoup moins importante. Sa forme réduite (Cr III) fait partie des éléments essentiels dans la vie animale, la forme oxydée (Cr VI) est par contre extrêmement toxique. A l'identique des propos relatifs à l'arsenic, des teneurs très élevées sont quelquefois dosées au droit des quais de déchargement de vrac dans les ports de commerce. Ces concentrations, de l'ordre de 800 mg/kg de sédiment poids sec, témoignent de la présence de minéraux de chrome dont les tests de lixiviation donnent, dans les cas de nos expériences, des teneurs proches des limites de quantification des laboratoires et sans impact a priori sur les milieux.



### **Cuivre (Cu)**

Le cuivre est un oligo-élément nécessaire à la vie, mais qui peut présenter des effets toxiques à partir d'un certain seuil de concentration. L'utilisation de l'oxyde CuO comme matière active des peintures antisalissures marines constitue une source importante d'introduction dans les zones portuaires. Ceci d'autant plus depuis l'interdiction de l'utilisation de composés à base d'étain (TBT). Les nouvelles formulations font état de concentrations en cuivre de l'ordre de 75 %. Dans le milieu aquatique, le cuivre existe sous forme particulaire, colloïdale et dissoute. Il a tendance à former des complexes avec des bases fortes telles que carbonates, nitrates, sulfates, chlorures. Le cuivre est également utilisé dans le traitement des bois et dans des produits phytosanitaires (désherbants, insecticides, fongicides). C'est un matériau de base de l'industrie électrique (en concurrence avec l'aluminium) et de la construction (conduites d'eau). Ses qualités mécaniques rendent possibles de nombreux procédés d'usinage (emboutissage, forgeage, laminage, matriçage, tréfilage). Les teneurs mesurées dans les zones de dragage, et principalement dans les ports, peuvent être de l'ordre de 200 mg/kg de sédiment poids sec, exceptionnellement plus, voire beaucoup plus, et ceci pour tout ou partie en raison des peintures antisalissures.

### **Mercure (Hg)**

Les composés du mercure connaissent de nombreux emplois : industrie chimique, traitement du bois, explosif d'amorçage, peintures, piles ou batteries, plastiques et caoutchoucs. Le mercure pur est utilisé sous forme métallique, comme électrode dans la fabrication de la soude et du chlore. Il est utilisé dans la fabrication d'instruments de mesures (thermomètres, baromètres etc), d'appareillages électriques (contacts au mercure, etc.) et dans les lampes à décharge. Le mercure est le plus toxique des métaux traces, plus particulièrement ses formes organiques. La méthylation du mercure est effective dans les sédiments sous l'action des microorganismes et, dans la colonne d'eau, en présence de phytoplancton. Les teneurs élevées, sous-entendu supérieures à 0,8 mg/kg poids suivant la valeur seuil N2 de l'arrêté du 09 juin 2006, sont rarement dépassées. Toutefois cette concentration peut être dépassée, suivant la géologie, ce qui est très rare, ou selon que d'anciens rejets industriels, ou urbains dans une moindre mesure, trouvent leur exutoire dans la zone à draguer.

### **Nickel (Ni)**

L'introduction de nickel d'origine anthropique vers l'atmosphère provient de l'utilisation des combustibles fossiles et de la production de métaux non ferreux. L'activité volcanique et l'érosion éolienne constituent l'essentiel des flux naturels vers l'atmosphère. Toutefois, ce métal est présent naturellement dans les sols et des concentrations de l'ordre de 50 mg/kg de sédiment poids sec sont couramment dosées.



### **Plomb (Pb)**

Rarement disponible à l'état natif; le plomb est présent dans de nombreux minerais, notamment la galène (PbS). Utilisé pour la fabrication d'accumulateurs et, anciennement (SUPER) comme antidétonant (plomb tétra éthyle) dans les carburants, il arrive majoritairement en milieu marin par des apports atmosphériques et principalement le lessivage des zones urbanisées. Il est, ou a été, aussi introduit dans les sédiments par des rejets sauvages de tuyaux lors des réfections de canalisations domestiques et de batteries de voiture qui furent souvent utilisées comme « corps morts » pour des petites embarcations. Durant les décennies d'utilisation des carburants contenant du plomb, les teneurs élevées dans les sédiments leur ont été attribuées. Nous constatons actuellement que ces teneurs, malgré l'arrêt de cette source potentielle, n'ont pas diminué de manière drastique voire même ont perduré dans les sédiments portuaires. Il n'est pas exceptionnel actuellement de doser des teneurs de l'ordre de 200 à 300 mg/kg de sédiment sec. Toutefois, les tests de lixiviation dont nous avons connaissance n'ont pas engendré de teneurs quantifiables dans les eaux d'exhaure.

### **Zinc (Zn)**

Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie. Les usages du zinc sont multiples : peintures antisalissures, produits pharmaceutiques et phytosanitaires, conduits d'évacuation des eaux pluviales (pneumatiques de voitures, gouttières, tuyaux de descente, etc) et piles. Une grande partie des apports en zinc dans l'environnement est imputable à la métallurgie, à la combustion des bois et des charbons. Ses apports sont aussi dus aux anodes sacrificielles des bateaux dans les zones portuaires. Les teneurs en zone portuaire sont souvent de l'ordre de 200 à 400 mg/kg de sédiment poids sec, et les analyses sur les lixiviats peuvent donner des teneurs quantifiables qui tendraient à indiquer que ce métal est facilement mobilisable.



## 1.2.2 Les organiques

### **Polychlorobiphényles (PCB)**

La présence de résidus de PCB dans l'environnement résulte de leur importante utilisation comme fluides diélectriques (Pyrène), le calandrage, les additifs pour caoutchouc et matières plastiques, utilisations strictement réglementées depuis plusieurs années (Interdit dans l'Union Européenne en 1985 et en France depuis 1987). En plus des pertes lors des remplissages et retraitement des systèmes industriels (fluide diélectrique), les rejets urbains, les décharges de matériel usagé et les activités liées à la récupération des matériaux ferreux sont potentiellement des sources d'apport dans l'environnement. En raison de leur persistance, de leur possible bioaccumulation et de leur toxicité, les PCB font partie des contaminants prioritaires (POPs). On peut évaluer les provenances, condensateurs ou transformateurs suivant les rapports relatifs entre les congénères « légers » et « lourds ». Les teneurs ont très nettement tendance à diminuer depuis quelques années dans les sédiments portuaires. Au regard de leur rémanence, ceci est sans doute dû au fait que les sédiments pollués ont maintenant été, pour tout ou partie, dragués. Il arrive encore de doser des concentrations de l'ordre de quelques milligrammes (somme mathématique des teneurs des 7 congénères et/ou calcul des PCB Totaux) dans des zones soumises aux apports des bassins versants et semi fermés voire confinés.

### **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Les HAP présents dans l'environnement résultent de différents processus : la biosynthèse par les organismes vivants, les pertes à partir du transport ou de l'utilisation des carburants fossiles, charbons, pétroles, la pyrolyse des matières organiques à haute température, feu de forêts, combustion des charbons et pétroles. Ce dernier processus constitue la principale voie d'introduction des HAP dans l'environnement et résulte majoritairement des activités anthropiques. Il est bien connu que la combustion des essences est une source importante d'introduction de HAP dans l'atmosphère. Les activités industrielles telles que les usines de production d'aluminium, les raffineries de pétrole ou les rejets urbains contribuent également de manière importante aux apports atmosphériques et aquatiques.

Seize HAP sont dosés dans les études environnementales afin de caractériser les teneurs au regard de l'environnement. Ceux-ci renseignent sur les provenances possibles de ces teneurs, ainsi, si tous ces hydrocarbures proviennent de la combustion incomplète de carburant fossile, le fluoranthène, le fluorène et le pyrène sont aussi des témoins des émissions des incinérateurs de déchets ménagers comme le chrysène qui en plus est présent dans les résidus de combustion de lignite. Le phénanthrène est plus particulièrement associé à la combustion du bois, et le benzo(g,h,i)peryène, comme le benzo(a)pyrène sont les signes d'activités volcaniques.

La source de ces hydrocarbures polyaromatiques est donc pyrolytique mais peut aussi être pétrogénique. Cette indication est intéressante dans la mesure où les HAP de provenance pyrolytique sont plus fortement adsorbés que les autres et sont donc moins biodégradables.



Trois rapports permettent d'évaluer cette provenance :

Source	[Phénanthrène] / [Anthracène]	[Fluoranthène] / [Pyrène]	[Chrysène] / [Benzo(a)pyrène]
Pyrolytique	De 1 à 10	> 1	< 1
Pétrogénique	> 25	< 1	> 1

Source : Thomson (1999) et Garrigues et al (1995).

Les teneurs peuvent être sensiblement élevées suivant les sites et des valeurs cumulées tenant compte des seize HAP dosés peuvent être de l'ordre de presque 30 mg/kg de sédiment poids sec dans un port industriel alors que des valeurs inférieures à 1 mg/kg caractérisent souvent les sédiments de ports de plaisance.

### 1.2.3 Les organométalliques

Le tributylétain (TBT) et ses métabolites sont des composés (biocide) utilisés dans les peintures antisalissures des coques de navires pour empêcher la fixation des algues et des mollusques sur les parties immergées des bateaux. Ils sont interdits depuis 2003 en France. Il est aussi intéressant de connaître les teneurs en Dibutylétain (DBT) et Monobutylétain (MBT), qui sont des sous-produits de transformation, pour avoir une idée de l'ancienneté de la présence du TBT. Les teneurs en TBT dans les sédiments sont encore aujourd'hui quantifiables et pas seulement dans les ports accueillant des navires de commerce. Ces concentrations témoignent de leur usage, certainement, par méconnaissance de l'impact de ces composés sur les milieux et de la législation. Toutefois, des peintures à base d'étain sont actuellement à la vente dans les pays de l'Afrique du Nord en particulier, et des armateurs ou des plaisanciers en particulier peuvent en être les transitaires sans en avoir la connaissance. Suivant les usages, les teneurs en TBT en zones portuaires vont de quelques mg/kg poids sec à des concentrations inférieures à la limite de quantification des laboratoires (exemple LQ < 3,6 µg Sn/kg).

### 1.2.4 Paramètres supplémentaires de la DCE

La DCE impose, pour atteindre le bon état chimique des eaux, le respect des normes de qualité environnementales<sup>1</sup> (NQE) pour une liste donnée de substances (*Article 2 Alinéa 24 de la DCE et Circulaire 2007/23 du 7 mai 2007 NQE*). On distingue :

- 33 substances (ou groupes de substances) prioritaires (SP) *Article 16 alinéa 1* : polluants ou groupe de polluants présentant un risque significatif pour ou via l'environnement aquatique, dont des substances dangereuses prioritaires (SDP) *Article 2 alinéa 29* : substances ou groupes de substances qui sont toxiques, persistantes et bioaccumulables.
- et aussi 8 autres substances provenant du PNR<sup>2</sup> qui appartiennent à la liste I, ont fait l'objet d'une directive et ne font pas déjà partie de l'annexe X de la DCE.



Figure 2 : Substances des listes I et II de la Directive 76/464 et prioritaires de la DCE

<sup>1</sup> La NQE est la concentration d'un polluant ou groupe de polluants qui ne doit pas être dépassée pour protéger la santé humaine et l'environnement. Elle permet de distinguer la mauvais état chimique (concentration > NQE) et du bon état chimique (concentration < NQE).

<sup>2</sup> Programme national de réduction de la pollution



Le réseau REPOM intègre depuis 2010, les substances DCE pouvant se retrouver dans les sédiments portuaires. En 2013, un bilan des données sera réalisé de façon à orienter le suivi vers des substances se concentrant effectivement en quantité non négligeable dans les sédiments.

Pour les substances non énoncées dans la partie précédente, peu de données sont disponibles en termes de concentration dans les milieux aquatiques en général et littoraux en particulier. Ceci en raison du fait qu'elles ne sont pas réglementaires dans les études au titre du Code de l'Environnement dans le cadre de travaux de dragage. Leur dosage est mis en œuvre quand une source est connue ou au moins suspectée.

### **Pentabromodiphényléther**

C'est un mélange liquide très visqueux de tri-, tétra-, penta, hexa- et hepta-bromodiphényléthers. Ses principaux éléments constitutifs sont le 2,2',4,4'-tétrabromodiphényléther (BDE-47) et le 2,2',4,4',5-Pentabromodiphényléther (BDE-99). Il s'utilise surtout dans des mousses et des élastomères rigides ou souples à base de polyuréthane servant, pour la plupart, à rembourrer et à fabriquer des meubles. Le Pentabromodiphényléther est largement utilisé, dans le monde entier, comme retardateur de flammes dans divers articles, le plus souvent en polyuréthane. (UNEP/POPS/POPRC.1/5, 2005). C'est une substance purement anthropique, rémanente, qui résiste à la dégradation biotique et abiotique.

### **Chlorfenvinphos**

Utilisé comme insecticide, cet organophosphoré est peu adsorbé sur les matières en suspension et dans les sédiments. Il est donc préférentiellement trouvé sous forme dissoute dans la colonne d'eau. Il se dégrade par hydrolyse avec un temps de demi-vie estimé entre 80 et 170 jours dans des conditions de pH compris entre 6 et 9.

### **Chlorpyrifos**

Utilisé comme insecticide, cette substance anthropique, organophosphorée est très adsorbée sur les matières en suspension et dans les sédiments. C'est un composé qui se dégrade par hydrolyse et photolyse. En mer (eau et sédiment), la demi-vie du chlorpyrifos a été évaluée à 24 jours. Il a été montré que la dégradabilité de cette substance est améliorée par l'augmentation de la salinité et des teneurs en cuivre dans le milieu. Toutefois, les conditions physico-chimiques intrinsèques aux milieux sédimentaires seraient un facteur limitant pour l'hydrolyse et augmenteraient ainsi les temps de persistance. (Liu B., McConnell L.L., Torrents A. (2001). Hydrolysis of chlorpyrifos in natural waters of the Chesapeake Bay. *Chemosphere*, 44, 1315-1323., Macalady D.L., Wolfe N.L. (1985). Effects of sediment sorption and abiotic hydrolysis of organophosphorothioate esters. *J. Agric. Food Chem.*, 33, 167-173).

### **Di(2-éthylhexyl)phtalate DEHP**

Il s'agit d'une substance anthropique utilisée dans les polymères comme plastifiant et dans les peintures industrielles et les fluides diélectriques. Elle n'est pas sensible à la dégradation abiotique (hydrolyse et/ou photolyse) dans l'eau et son temps de demi-vie est évalué à 300 jours.



### **Endosulfan**

Utilisé comme insecticide, cette substance anthropique est fortement adsorbée sur les matières en suspension et le sédiment dans les milieux aquatiques.

### **Hexachlorobenzène**

Autrefois utilisé dans les industries chimiques et dans l'agriculture (fongicide et pesticide), l'utilisation de ce composé est interdite dans l'Union Européenne depuis 1978. C'est une substance purement anthropique.

Elle est décrite comme fortement liée aux fractions sédimentaires et aux matières en suspension. L'INERIS rapporte des valeurs dosées dans les sédiments méditerranéens de l'ordre de 0,100 à 0,213 µg/kg de sédiment poids sec. Des valeurs beaucoup plus élevées ont été dosées dans des sédiments des Etats Unis

Des travaux ont été réalisés aux Etats-Unis pour étudier la substitution de chlore dans ce composé sous l'effet de bactérie en milieu anaérobie, et il est indiqué que le temps de demi-vie de l'Hexachlorobenzène est de l'ordre de sept années. (J.E.M. BEURKSENS et al, Biogeochemistry 19 :61-81,1993).

Un document du PNUE sur cette substance fait état d'un composé particulièrement rémanent en milieu terrestre.**Hexachlorobutadiène**

Cette substance est créée (sous produit) lors de la synthèse de composés chlorés, tels que les solvants et autres chlorures. Elle est ou a été utilisée aussi comme fluide technique en raison de ses caractéristiques en termes de lubrifiants et d'isolants.

Dans les milieux aquatiques, l'Hexachlorobutadiène est sensible à la volatilisation mais présente un caractère marqué pour l'adsorption sur les matières en suspension et dans les sédiments. Ce composé est sensible à la photolyse et est donc particulièrement protégé au sein de la matrice sédimentaire. En ce sens la dégradation anaérobie conduit principalement à la formation de 1,2,3,4-tétrachlorobutadiène, composé non repris dans la Directive. Il n'existe pas de données sur les temps de demi-vie dans les milieux sédimentaires ou en eaux de mer.

### **Hexachlorocyclohexane**

Ce composé fait partie d'une famille de sept isomères organochlorés. Seul l'isomère  $\gamma$  (gamma) appelé LINDANE est utilisé pour ses propriétés insecticides. Il est peu adsorbé sur les matières en suspension et dans les sédiments. Les isomères alpha et gamma sont ceux qui présentent les potentiels toxiques les plus élevés (neurotoxiques). Il se dégrade à la suite de processus biotiques (action de bactéries anaérobies méthanogènes ou déchloration aérobie par exemple) et abiotiques, notamment par hydrolyse et photolyse avec des temps relativement longs qui sont fonction du pH et de la température, et donc variables. Il est proposé dans un rapport de la FAO sur cette substance un temps de demi-vie pour l'isomère alpha de l'ordre de deux années.





### **Nonylphénols**

Les nonylphénols sont des isomères dont le mélange est principalement composé du 4-nonylphénol. Cette substance de la famille des alkyls phénols (benzène avec un radical alcool) est utilisée pour la fabrication d'agents tensioactifs non ioniques (éthoxylates de nonylphénols) et de résines phénoliques entre autres. Ils sont adsorbés sur les matières en suspension et dans les sédiments. Ces composés sont peu ou pas dégradés par les processus abiotiques. La biodégradation est difficile et un temps de demi-vie de l'ordre de 150 jours est proposé dans les travaux de l'IFREMER.

### **Octylphénols**

Cette substance anthropique est utilisée dans la fabrication de surfactants, de résines de formaldéhyde et de laques. Elle est fortement adsorbée sur les matières en suspension et dans les sédiments, et n'est apparemment pas ou très peu biodégradable.

### **Pentachlorobenzène**

Cette substance rentre dans la préparation de fongicide (quintozène), de pesticides et d'herbicides. Elle a aussi été utilisée pour réduire la viscosité des polychlorobiphényles et en tant que retardateur de flamme. Très facilement adsorbée dans les matières en suspension et dans les sédiments, la dégradation abiotique est quasi inexistante et sa biodégradation est lente et difficile dans les milieux aquatiques et au sein des sédiments. Les temps de demi-vie proposés dans les travaux de l'IFREMER sont de l'ordre de 388 à 1250 jours dans les sédiments.

### **Pentachlorophénols**

Cette substance organochlorée anthropique a été utilisée dans les formulations pour le traitement du bois (pesticide). Interdit dans les produits destinés au grand public, son utilisation à titre exceptionnel a été autorisée pour l'industrie jusqu'à fin 2008. Elle a aussi été utilisée comme additif dans les huiles minérales pour moteur.

### **Trichlorobenzène**

Ce composé organohalogéné rentre dans les formulations de lubrifiants, solvants, fluides diélectriques, insecticides et de produits de nettoyage. Il est aussi utilisé dans la fabrication de teintures et de polyester. Il est adsorbé sur les matières en suspension et dans les sédiments. Sa dégradation abiotique est particulièrement inexistante. Il est considéré comme difficilement biodégradable (demi-vie de 150 jours dans l'eau et 300 dans le sédiment). La possibilité de biodégradation est rapportée dans les travaux de l'IFREMER.



### Trifluraline

Suivant le rapport OSPAR relatif à cette substance la trifluraline est un herbicide dinitro-aniline employé afin de détruire un large spectre de graminées annuelles et de mauvaises herbes à feuilles larges dans l'agriculture, l'horticulture, la viticulture, les jardins d'agrément et les jardins individuels. Les grandes cultures sur lesquelles elle est utilisée sont le colza et le tournesol, et, à un moindre degré, le coton et les céréales. La trifluraline a été inscrite en 2002 sur la liste OSPAR des produits chimiques devant faire l'objet de mesures prioritaires. La trifluraline est adsorbée sur les matières en suspension et dans les sédiments. C'est une substance qui subit une dégradation biotique et abiotique assez facilement avec un temps de demi-vie dans le sédiment évalué entre 57 et 433 heures.

### DDT

Le dichlorodiphényl-trichloroéthane (DDT) est un hydrocarbure chloré qui possède des propriétés insecticides à large spectre. Le DDT est une substance anthropique développée et utilisée durant la Deuxième Guerre mondiale pour protéger les troupes et les civils contre la propagation du paludisme, du typhus et d'autres maladies transmises par des vecteurs. Par la suite, elle a continué à être utilisée dans l'agriculture avant qu'elle soit interdite en 1972. Le DDT est encore utilisé pour lutter contre les moustiques vecteurs du paludisme dans de nombreux pays. C'est un mélange d'isomères *p,p'*-DDT, *o,p'*-DDT et *m,p'*-DDT. Ces produits de dégradation, métabolites, sont le 1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophényl)éthane (DDD) et le 1,1-dichloro-2,2bis(4-chlorophényl)éthylène (DDE), ils se retrouvent aussi pratiquement partout dans l'environnement et sont plus persistants que le composé parent.

Le DDT forme des liaisons fortes avec les particules sédimentaires (ATSDR, 1989) et la photo oxydation peut transformer le DDT lié aux sédiments, mais ce processus n'est déterminant que dans les sédiments qui subissent un assèchement périodique. Par ailleurs, l'hydrolyse du DDT lié aux sédiments n'a pas été observée. La biodégradation constitue donc probablement le mécanisme de transformation le plus important. En conditions aérobies, la déshydrochloration est la principale réaction favorisant la dégradation du DDT surtout en DDE. En conditions anaérobies, la biodégradation est plus rapide et entraîne principalement la formation de DDD par déchloration réductrice. Des travaux ont estimé à 14 à 21 ans la demi-vie du DDT dans les sédiments à partir d'échantillons prélevés dans le lac Ontario.

### Aldrine

Cet organohalogéné anthropique est utilisé comme insecticide contre les coléoptères, les acariens et les termites. Sa vente et son utilisation sont interdites en France depuis octobre 1994. Ce composé serait fortement adsorbé sur les matières en suspension et dans les sédiments. Il est rapidement transformé en dieldrine dans l'environnement, et son devenir lui est étroitement lié. Aucune donnée n'a été trouvée relative à sa dégradabilité biotique ou abiotique.

### Dieldrine

Ce composé est un métabolite de l'Aldrine, il était utilisé dans les traitements des sols et des semences mais aussi en tant qu'antiparasitaire dans les formulations vétérinaires et dans la lutte contre les vecteurs des maladies infectieuses. Son utilisation est interdite depuis octobre 1994. Ce composé serait fortement adsorbé sur les matières en suspension et dans les sédiments. Aucune donnée n'a été trouvée relative à sa dégradabilité biotique ou abiotique.



### **Endrine et Isodrine**

Isomères de l'Aldrine, ce sont des pesticides organohalogénés (insecticides) anthropiques stéréo-isomères de la dieldrine. Ils sont interdits au même titre que la dieldrine et l'aldrine. Ces composés paraissent être préférentiellement adsorbés sur les matières organiques et donc sur les matières en suspension et dans les sédiments. Aucune donnée n'a été trouvée relative à leur dégradabilité biotique ou abiotique.



1.2.5 Synthèse sur la toxicité des contaminants

**Tableau 7 : Synthèse des seuils de toxicité disponibles pour les principaux contaminants**

Paramètres	DCE	NOEC/CE10 organisme benthique (mg/kg (pdssec))	Toxicité aiguë				Toxicité chronique		Arrêté du 09 août 2006 (mg/kg MS) N1	Arrêté du 09 août 2006 (mg/kg MS) N2	Concentration sans effet pour l'environnement		Concentration ubiquitaire sédiment (µg/kg)
			Algues marines CL50 (µg/l)	Crustacés marins CL <sub>50</sub> (µg/l)	Mollusques marins CL <sub>50</sub> (µg/l)	Poissons marins CL <sub>50</sub> (µg/l)	NOEC poisson marin (µg/l)	NOEC mollusque marin (µg/l)			PNEC aquatique (µg/l)	PNEC sédiments (µg/kg MS)	
Pentabromodiphényléther	o	3,1	nd	nd	nd	nd	10	10	nd	nd	0,53	310	nd
C10-13 chloroalcane	o	nd	30	nd	10	340	280	10	nd	nd			
Chlorfenvinphos	o	nd	1 000	nd	nd	230	30	7,6	nd	nd	nd	nd	nd
Chlorpyrifos	o	nd	50	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
DEHP	o	nd	nd	nd	nd	550 000	10 000	42	nd	nd	nd	> 1E6	nd
Endosulfan	o	nd	nd	nd	0,04	0,09	0,17	0,08	nd	nd	5,00E-04	nd	nd
Fluoranthène	o	31 mg/l	nd	nd	30	40	10	31 000	nd	nd	0,12	129	1000
Hexachlorobenzène	o	1 000	10	7,2	1 000	13	5,7	5	nd	nd	0,013	3,7	nd
Hexachlorobutadiène	o	nd	> 2 000	nd	60	450	nd	nd	nd	nd	0,44	107	nd
Hexachlorocyclohexane	o	nd	nd	nd	nd	1310	250	10	nd	nd	0,01	nd	nd
Nonylphénols	o	0,12	30	nd	40	310	nd	nd	nd	nd	0,33	39	nd
Octylphénols	o	nd	1 100	nd	50	280	nd	nd	nd	nd	0,0122	nd	nd
Pentachlorobenzène	o	nd	2 230	nd	160	nd	20	10	nd	nd	1	87	nd
Pentachlorophénol	o	nd	200	nd	40	40	10	100	nd	nd	0,1	25,9	nd
Trichlorobenzène	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,4	nd	nd
Trifluraline	o	157	30	nd	350	160	nd	20	nd	nd	0,03	3140	nd
DDT	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
4-4- DDT	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd



Paramètres	DCE	NOEC/CE10 organisme benthique (mg/kg (pdssec))	Toxicité aiguë				Toxicité chronique		Arrêté du 09 août 2006 (mg/kg MS) N1	Arrêté du 09 août 2006 (mg/kg MS) N2	Concentration sans effet pour l'environnement		Concentration ubiquitaire sédiment (µg/kg)
			Algues marines CL50 (µg/l)	Crustacés marins CL50 (µg/l)	Mollusques marins CL50 (µg/l)	Poissons marins CL50 (µg/l)	NOEC poisson marin (µg/l)	NOEC mollusque marin (µg/l)			PNEC aquatique (µg/l)	PNEC sédiments (µg/kg MS)	
Aldrine	o	nd	1000	8	25	2,03	3,3	83	nd	nd	0,002	0,24	nd
Dieldrine	o	nd	nd	0,038	31,2	0,9	0,12	10	nd	nd	nd	nd	nd
Endrine	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Isodrine	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PCB Totaux	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,5	1	nd	nd	nd
PCB congénère 28	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,025	0,05	nd	nd	nd
PCB congénère 52	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,025	0,05	nd	nd	nd
PCB congénère 101	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	0,1	nd	nd	nd
PCB congénère 118	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,025	0,05	nd	nd	nd
PCB congénère 138	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	0,1	nd	nd	nd
PCB congénère 153	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	0,1	nd	nd	nd
PCB congénère 180	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,025	0,05	nd	nd	nd
Naphtalène	n	nd	2960	nd	800	1000	120	nd	nd	nd	nd	nd	< 2
Acénaphylène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Acénaphène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluorène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoranthène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,4	5	nd	nd	nd
Phénanthrène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Anthracène	o	nd	nd	nd	nd	8	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pyrène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(a)anthracène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Chrysène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(b)fluoranthène	o	nd	nd	>1,1 (48h)	nd	nd	nd	nd	0,3	3	nd	nd	nd



Paramètres	DCE	NOEC/CE10 organisme benthique (mg/kg (pdssec))	Toxicité aiguë				Toxicité chronique		Arrêté du 09 août 2006 (mg/kg MS) N1	Arrêté du 09 août 2006 (mg/kg MS) N2	Concentration sans effet pour l'environnement		Concentration ubiquitaire sédiment (µg/kg)
			Algues marines CL50 (µg/l)	Crustacés marins CL50 (µg/l)	Mollusques marins CL50 (µg/l)	Poissons marins CL50 (µg/l)	NOEC poisson marin (µg/l)	NOEC mollusque marin (µg/l)			PNEC aquatique (µg/l)	PNEC sédiments (µg/kg MS)	
Benzo(k)fluoranthène	o	nd	300	>1,1 (48h)	nd	nd	0,36	nd	0,2	2	nd	nd	nd
Benzo(a)pyrène	o	nd	5	1,5	nd	nd	2,4	nd	0,2	1	0,05	nd	1
Benzo(g,h,i)pérylène	o	nd	2000 (48h)	0,2 (14h)	nd	nd	nd	nd	0,2	1	nd	nd	< 500
Dibenzo(a,h)anthracène	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Indéno(1,2,3 cd)pyrène	o	nd	5,75	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	1	nd	nd	nd
Arsenic	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25	50	nd	nd	<15 000
Cadmium	o	115	10	nd	10	nd	0,47	0,6	1,2	2,4	0,19	2300	nd
Chrome	n	nd	nd	nd	nd	nd	50	10	90	180	nd	nd	< 100 000
Cuivre	n	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	45	90	nd	nd	nd
Mercure	o	930	nd	nd	nd	nd	10	0,25	0,4	0,8	0,01	1100	< 0,4E-03
Nickel	o	nd	50	150	61	7900	3240	5	nd	nd	nd	nd	<20 000
Plomb	o	nd	nd	nd	nd	nd	120	10	nd	nd	5,4	6,8	nd
Zinc	n	1200	nd	nd	nd	nd	25	400	nd	nd	8,6	nd	70 000 à 140 000
TBT	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,1	0,4	nd	nd	nd
DBT	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MBT	o	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd



### 1.3 Qualité microbiologique

Le milieu marin renferme une grande diversité d'organismes microbiologiques dont un petit nombre seulement est pathogène. La charge des sédiments marins en microorganismes pathogènes est liée aux rejets d'eaux usées provenant soit des effluents des stations d'épurations urbaines, soit des rejets directs dont notamment ceux des bateaux de plaisance non équipés en systèmes de traitement. Certains peuvent être natifs de l'environnement marin. Leurs temps de vie dans les milieux récepteurs dépendent principalement de la température, des nutriments présents et de la pression osmotique. Si dans les réseaux fluviaux ces organismes perdurent, leurs temps de vie moyen en milieu marin sont limités à quelques jours, voire quelques heures suivant les saisons.

Les microorganismes suivants, pathogènes pour l'homme, peuvent être retrouvés dans les sédiments : *Salmonella* (Carr et al., 2010), *Escherichia coli*, streptocoques fécaux, *Clostridium perfringens* (Buchholtz ten Brink, Galvin, & Mecray, 2010), *Clostridium botulinum* de type E, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio cholerae* (Kaisner et al, 1996), *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas aeruginosa* (Velammal, Aiyamperumal, Venugopalan, & Ajmalkhan, 1994), *Listeria monocytogenes* (Colburn et al, 1990), etc. Les germes pathogènes représentent un risque pour la population humaine, essentiellement lorsqu'ils s'accumulent dans les produits de la pêche et de l'élevage. Parmi cet ensemble d'organismes pouvant être retrouvés dans les sédiments il est nécessaire de se poser la question de leur dangerosité et du risque de présence sur un site donné.

Peu d'analyses bactériologiques sont réalisées dans les sédiments à draguer et *a fortiori* dans les zones d'immersions. Ces analyses sont faites le plus souvent dans le cas de rechargement de plage. Mais il convient d'interpréter ces résultats avec prudence car les évolutions des concentrations en place peuvent évoluer, contrairement aux teneurs en contaminants métalliques et organiques, très rapidement dans les délais d'analyse.

De récentes investigations liées aux possibles biotraitement de sédiments portuaires laissent augurer que les analyses microbiologiques des zones envasées seront de plus en plus mises en œuvre. Le biotraitement revient à favoriser la dégradation des matières organiques par une ou plusieurs souches, apportées ou autochtones, non pathogènes. Les études en cours (Port Gallice, Antibes Juan-les-Pins dans les Alpes Maritimes), en attente de validation, montreraient que les teneurs en souches pathogènes autochtones dans les sédiments avant ensemencement diminuent en présence d'un excès, par rapport aux conditions initiales, de souches non pathogènes. Ceci par un phénomène de compétition vis-à-vis des nutriments présents.

En tout état de cause, la présence éventuelle ou avérée de micro-organismes pathogènes est à prendre en compte dans les suivis des dragages et des immersions, tout du moins dans les immersions en eaux non salées.



### 1.3.1 Bactéries

Deux types de bactéries sont présents dans les sédiments non consolidés en fonction des conditions d'oxydation :

- des bactéries aérobies, qui utilisent l'oxygène pour vivre, sont installées dans des sédiments oxygènes (couche superficielle) ;
- des bactéries anaérobies (bactéries sulfato-réductrices par exemple) dans les matériaux réduits (couche profonde).

Dans le milieu aqueux, les bactéries s'adsorbent sur les particules en suspension dans l'eau et sédimentent en même temps qu'elles. De nombreuses études s'accordent pour confirmer que la charge bactérienne est supérieure dans le compartiment sédimentaire (et en surface particulièrement (biofilm)) par rapport à la colonne d'eau sus-jacente (Alzieu, 1999). La texture sédimentaire, les teneurs en matière organique et sa qualité, la présence ou non de protozoaires influence la quantité de bactéries et la structure du peuplement. Ainsi, les sédiments fins (argiles ou vases) sont naturellement plus colonisés.

Les bactéries dans le sédiment sont capables de survivre selon différentes méthodes : sporulation (fabrication de spores), ou adsorption sur les particules qui assurent leur maintien par la dégradation de la matière organique particulaire. Il est généralement admis que les coliformes meurent très rapidement en milieu salé et que leur présence dans le milieu traduit une contamination récente. Cependant, il a été montré que *Escherichia coli* était capable d'accumuler des molécules dites osmoprotectrices (acides aminés, glycine-bétaïne ou tréhalose) qui lui permette de résister au sel. Cette capacité est d'autant plus forte que le sédiment est riche en matière organique.

Il convient de noter que l'usage des biocides pour limiter les salissures sur les bateaux a parfois eu des effets létaux sur les communautés bactériennes sédimentaires, dans les ports notamment (Alzieu, 1999).

#### **Vibrionaceae**

Les *Vibrio* sont tous d'origine marine, ils ne se multiplient qu'en présence de NaCl. Sur 30 espèces connues, 3 sont toxiques pour l'homme dont *Vibrio cholera*.

- ***Vibrio cholera*** est une bactérie très mobile qui contamine l'homme par les aliments. Il est apporté en mer par les eaux usées non traitées. Il est indicateur d'une contamination fécale récente due à l'homme contaminé. Il passe dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire des coquillages et peut présenter un risque pour le consommateur. En 2003, 111 575 cas et 1 894 décès ont été déclarés par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) dans 45 pays.

On distingue deux sous-groupes de *Vibrio cholera* :

- *Vibrio cholera* non cholérigène (VNC) : germe pathogène responsable de gastro-entérites sévères,
- *Vibrio cholera* O<sub>1</sub> et O<sub>139</sub>: germes pathogènes responsables de toxi-infections intestinales aiguës de l'homme provoquant après quelques jours d'incubation, des crises graves de vomissements et de diarrhées. La mort survient en quelques jours dans 25 à 50 % des cas.





- **Les autres Vibrio :** les deux autres espèces toxiques pour l'homme sont *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* responsables respectivement de gastro-entérites et de septicémies sévères entraînant la mort des sujets fragiles.

### Salmonelles

Les salmonelles appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Le genre *Salmonella* est le groupe le plus important de cette famille. Le genre se partage en 4 sous-groupes de I à IV. Le groupe I contient la majorité des espèces toxiques pour l'homme.

Les salmonelles sont présentes dans l'intestin de l'homme mais aussi d'autres mammifères et des oiseaux. La présence de salmonelles indique une contamination fécale par l'homme ou les animaux. Les individus malades constituent les principales sources de bactéries par l'intermédiaire des eaux usées : les malades libèrent  $10^9$  bactéries / gramme de fèces.

Ces bactéries représentent un risque permanent pour le consommateur, c'est pourquoi leur absence est contrôlée dans les produits destinés à la consommation dans de nombreux pays. Les salmonelloses, maladies causées par les salmonelles, sont de trois types :

- Formes septicémiques : fièvres typhoïde et paratyphoïde. Formes essentielles chez l'homme.
- Formes digestives : Toxi-infections alimentaires. Contaminations rares de l'homme
- Autres formes plus rares : méningites, atteintes ostéo-articulaires, infections pulmonaires.

### Bacillaceae

Cette famille compte deux genres *Bacillus* et *Clostridium*. Ce dernier représente un intérêt particulier dans la pollution de l'eau et des fruits de mer. Il existe deux espèces de *Clostridium* :

- *C. botulinum* : Souvent rencontrée en milieu marin, dans l'eau, les sédiments, les coquillages et les poissons, cette bactérie est responsable de la synthèse de toxines dites toxines botuliques. On connaît sept types de toxines botuliques (A à G), seule la toxine E est impliquée dans la contamination du milieu marin. La voie alimentaire est la voie principale de contamination de l'homme. La maladie provoquée par ces toxines est le botulisme, c'est une maladie mortelle qui touche le système nerveux. La létalité du botulisme est variable selon le type de toxine en cause, les sérotypes A et E étant responsables des formes les plus graves. Les toxines botuliques sont thermolabiles et détruites par un chauffage  $> 85^{\circ}\text{C}$  pendant 5 minutes. La stérilisation des produits de la mer est donc nécessaire.
- *C. perfringens* : Cette bactérie vit dans l'intestin de l'homme et est rejetée en grande quantité dans les fèces. Elle arrive en mer avec les eaux usées. Très résistante à l'eau de mer, elle constituerait un bon indicateur mais elle est très difficile à détecter. Elle provoque des intoxications alimentaires faibles.



### **Pseudomonas**

Ces bactéries appartiennent à la famille des Pseudomonaceae. *Pseudomonas aeruginosa* est plus communément appelé le bacille pyocyanique. C'est un agent pathogène opportuniste. Ces bactéries Gram -, sont très mobiles (déplacement en ligne droite) et sont des aérobies stricts.

Cette bactérie vit à l'état saprophytique dans l'eau (eau douce ou eau de mer), le sol humide et sur les végétaux. Elle vit aussi dans le tube digestif de l'homme. Sa présence en mer est liée aux activités humaines telles que les rejets d'eaux usées ou la baignade. On la trouve dans 10 % des matières fécales normales et sa concentration dans les eaux usées peut atteindre  $10^6$  bactéries / ml.

Elles provoquent chez l'homme des affections des voies aériennes, des voies urinaires lors de la baignade, infections locales de l'œil ou de l'oreille, infections des plaies et des brûlures, infections urinaires, méningites, infections pulmonaires, gastro-entérites aiguës et des septicémies.

### **Listeria**

Elle appartient à la famille des Lactobacteriaceae. On connaît six espèces de cette famille dont trois sont pathogènes pour l'homme et les animaux. *Listeria monocytogenes* est la plus dangereuse, elle est responsable de la listériose. Elle est capable de se multiplier dans les macrophages et de provoquer une septicémie puis des infections du cœur, du système nerveux central, des yeux et également du fœtus. Les risques encourus par l'homme sont importants. Elle provoque des fausses couches et des encéphalites.

#### 1.3.2 Virus

De la même façon que pour les bactéries, la contamination virale des sédiments dépend de la taille des particules sédimentaires mais également de leur nature minérale. Certains minéraux argileux ont un pouvoir adsorbant très élevé et sont capables de « capter » spécifiquement 100 % des virus. L'adsorption des virus sur les particules sédimentaires est par ailleurs liée aux ions en présence (sodium et calcium). Les modifications du pH du milieu, vont alors avoir un rôle dans les alternances adsorption/désorption. Ainsi, d'une manière générale, la contamination virale est 10 à 10 000 fois supérieure dans la couche sédimentaire que dans l'eau sus-jacente (Alzieu, 1999).

Une fois « enfermés » dans le compartiment sédiment, les virus sont protégés des attaques chimiques à action éventuellement désinfectante. Ainsi le pouvoir infectieux des virus est conservé pour plusieurs semaines alors que dans la colonne d'eau, il n'est que de quelques jours ((Alzieu, 1999)).

Les virus impliqués dans les infections dues à l'eau sont des virus entériques humains : virus qui vivent dans l'intestin de l'homme. Ils sont responsables d'infections digestives, respiratoires, oculaires et plus graves du système nerveux central. On distingue quatre groupes de contaminants viraux, les entérovirus, les virus de l'hépatite, les virus de la gastro-entérite, les adénovirus.

Il n'existe pour l'instant aucune norme de contrôle des virus.



### **Entérovirus**

Les entérovirus appartiennent à la famille des Picornaviridae. De petite taille, ils sont très résistants et sont capables de subsister longtemps "en sommeil" dans le milieu. Les troubles provoqués par ces virus sont de nature très variable, de la fièvre jusqu'à la méningite en passant par des troubles musculaires et des troubles cardiaques chez le nourrisson.

### **Virus de l'hépatite**

En 1975, on a relevé à Stockholm 629 cas d'hépatite suite à la consommation d'huitres. Ces huitres étaient élevées près d'un village qui ne traitait pas ses eaux usées. Plus de 80 cas au total ont été relevés en 1992 dans le Morbihan et la Loire Atlantique, tous dus à la consommation d'huitres crues.

### **Virus de la gastro-entérite**

Les virus des gastro-entérites sont de nature très variée : on distingue des *Rotavirus* et *Reovirus*, des petits virus ronds, des *Coronavirus* et des *Coronavirus-like virus*.

### **Adénovirus**

Les adénovirus sont excrétés dans les matières fécales et sont responsables d'affections respiratoires, de conjonctivites, de gastro-entérites et certains ont un pouvoir oncogène.

#### 1.3.3 Les germes indicateurs

Il n'est pas techniquement possible de mesurer l'ensemble des germes (virus et bactéries) présents dans les sédiments ou la colonne d'eau et la caractérisation de leur pouvoir pathogène est ainsi définie au travers de germes indicateurs. La pollution par les eaux usées étant la cause majoritaire de contamination, on choisit des germes indicateurs de la contamination fécale.

Ces germes ne sont pas des pathogènes, mais leur présence en grand nombre peut être le signe de la présence de germes pathogènes. La difficulté de quantification de la contamination bactérienne est liée à l'adhésion des bactéries aux particules sédimentaires. Différentes techniques sont utilisées (physiques, chimiques ou enzymatiques) pour les décrocher de leur support et permettre un dénombrement optimal. Les résultats sont encore très variables et il n'existe toujours pas de technique normalisée ni de valeur de référence pour quantifier la contamination bactérienne dans les sédiments.

La représentativité de ces indicateurs fait pourtant encore débat au sein de la communauté scientifique. Leur durée de vie est souvent plus courte que les microorganismes pathogènes qui peuvent adopter des formes plus ou moins inertes mais rester pathogènes (*Salmonella* et *Clostridium*).



### Les coliformes

Ce sont des bactéries Gram- de la famille des Enterobacteriaceae. On les trouve en quantité importante dans les fèces humaines. Les coliformes meurent en général très rapidement en milieu salé, leur présence dans le milieu traduit une contamination récente. Les contrôles s'effectuent sur deux types de coliformes :

- **Coliformes totaux** : issus de la contamination par les fèces humaines, eaux de ruissellement et certains types d'effluents industriels.
  - *Enterobacter*
  - *Serratia*
  - *Yersinia*
  - *Rahnella*
  - *Buttiauxella*
- **Coliformes fécaux** : spécifiques de la contamination fécale.
  - *Escherichia coli*
  - *Klebsiella*
  - *Enterobacter*
  - *Citrobacter*
  - *Livinia*

### Les entérocoques

Ce sont des bactéries Gram+ de la famille des Streptococcaceae. Elles rassemblent cinq familles toutes originaires de l'intestin de l'homme et des mammifères. Cette famille, autre témoin de la contamination fécale, est utilisée en complément des coliformes. On peut connaître l'origine de la contamination fécale à partir du ratio  $R = \text{Coliformes fécaux} / \text{Entérocoques} = \text{CS} / \text{SF}$

**Tableau 8 : Rapport CS/ SF pour la connaissance de l'origine de la contamination fécale.**

Ratio CF/SF	Source de contamination
R<0.7	Principalement ou entièrement d'origine animale
0.7<R<1	Mixte à prédominance animale
1<R<2	Origine incertaine
2<R<4	Mixte à prédominance humaine
R>4	Source exclusivement humaine

Source : Borrego et Romero (1982)

CF : coliformes fécaux  
SF : Stréptocoques fécaux

⤷ Attention: différents paramètres extérieurs peuvent modifier ces proportions comme la température, le pH, la distance de la source, le temps d'immersion...).



## 1.4 Qualité phytoplanctonique

Le phytoplancton représente l'ensemble des organismes végétaux qui sont en suspension dans l'eau. Les espèces phytoplanctoniques sont en général unicellulaires et autotrophes (photosynthétiques). Le phytoplancton est un constituant naturel des biotopes marins et est à la base de nombreuses chaînes trophiques. On compte environ 3 400 à 4 000 espèces.

Des proliférations de certaines espèces se produisent régulièrement au printemps provoquant des phénomènes « d'eaux colorées ». Ces efflorescences ou blooms phytoplanctoniques sont des phénomènes naturels mais qui peuvent être amplifiés par l'enrichissement du milieu en sel nutritifs. Deux types d'espèces doivent être distingués :

- Les espèces non toxiques mais dont la prolifération excessive peut provoquer une anoxie du milieu dont peut s'ensuivre une mortalité de la faune par manque d'oxygène.
- Les espèces toxiques qui sécrètent des toxines : les phycotoxines. On en dénombre aujourd'hui 70 espèces. Elles appartiennent majoritairement à la classe des Dinophycées (ou Dinoflagellés). Ces toxines se dispersent dans l'eau, potentiellement sur de vastes étendues. Elles peuvent s'accumuler dans la chair des animaux qui se nourrissent du phytoplancton (coquillages, poissons), à des concentrations qui peuvent nuire à la santé des consommateurs.

La présence dans les sédiments d'espèces de phytoplancton toxiques est essentiellement liée à leur présence sous forme de kystes. Le risque de dispersion doit être considéré quel que soit la période de dragage, tandis que le risque lié à la germination doit être considéré principalement lorsque les conditions sont favorables au développement des espèces cibles, c'est-à-dire essentiellement au printemps et en été.

### 1.4.1 *Alexandrium minutum*

#### Ecologie

Le genre *Alexandrium* (Figure 13) appartient à la famille des Dinoflagellés (ou Dinophycées) et compte une vingtaine d'espèces dont trois sont connues sur le littoral français. On connaît *A. ostenfeldii*, *A. tamarese* et *A. minutum*. Seule cette dernière a été responsable d'efflorescences abondantes dans les eaux françaises entre 1984 et 1995. Absente en France avant 1980, on suppose qu'elle a été introduite (probablement d'Australie).

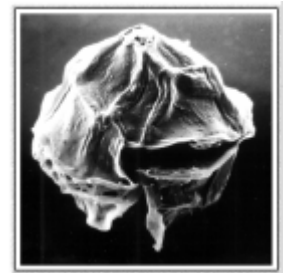


Figure 3 : *Alexandrium* sp.  
(Source : Ifremer)

*Alexandrium minutum* est une petite cellule ronde de 17 à 29 µm de diamètre capable de proliférer jusqu'à ce que sa concentration atteigne 1 à 10.10<sup>6</sup> cellules / l. Elle est responsable de la coloration de l'eau en rouge : on parle d'épisodes « d'eaux rouges à *Alexandrium minutum* »

Elle forme des kystes de résistance et peut ainsi passer l'hiver dans le sédiment et être dispersée au gré des courants. Lorsque les conditions environnementales deviennent favorables, il y a floraison.



## Toxicité

*Alexandrium minutum*, comme une dizaine d'autres espèces de ce genre, sécrète des phycotoxines paralysantes : les PSP pour *Paralytic Shellfish Poison*.

Les coquilles Saint-Jacques et les moules sont les vecteurs les plus importants des PSP ; la contamination des huîtres existe également mais est moindre. Des cas d'intoxications apparaissent dès une concentration de 100 000 cellules / l.

Niveau de toxicité PSP : la toxicité est testée sur trois souris par injection d'extrait de chair totale du coquillage. Le temps de survie médian sert à calculer le nombre d'unité souris qui sera lui-même converti en  $\mu\text{g}$  d'équivalent saxitoxine par 100 g de chair. Le seuil de santé publique est fixé à 80  $\mu\text{g}$  d'éq. STX. 100  $\text{g}^{-1}$ .

> 80  $\mu\text{g}$  d'éq. STX. 100  $\text{g}^{-1}$  : quantité dangereuse de PSP : le ramassage et la commercialisation sont interdits.

38,5  $\mu\text{g}$  < > 80  $\mu\text{g}$  d'éq. STX. 100  $\text{g}^{-1}$  : quantité non dangereuse.

< 38,5  $\mu\text{g}$  d'éq. STX. 100  $\text{g}^{-1}$  : absence de PSP.

## Situation en France

Les littoraux atlantique et méditerranéen sont touchés de façon régulière par des efflorescences d'*A.minutum* (au moins une fois par an) mais les épisodes sources de PSP en quantité dangereuse sont heureusement très rares.

Les résultats du REPHY (Ifremer) sont disponibles sur le lien suivant :

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/parammaps/phytoplankton/index.html>

On la retrouve principalement dans les estuaires, les golfes et les ports. Ces zones sont en général soumises à des apports importants en eau douce et en sels nutritifs (nitrates et phosphates) drainés par l'ensemble des cours d'eau du bassin versant. Ainsi les floraisons apparaissent souvent après des crues importantes suivies d'une période d'ensoleillement.

Les premières proliférations d'*A. minutum* ont été observées dans l'Aber-Wrach et l'Aber-Benoît (Bretagne nord) en août 1988, dans la rivière de Morlaix (Finistère) en juillet 1989 et en Rance en 1996. Depuis, des efflorescences toxigènes apparaissent périodiquement chaque année (Ifremer, 2006).

#### 1.4.2 *Prorocentrum minimum*

##### Écologie

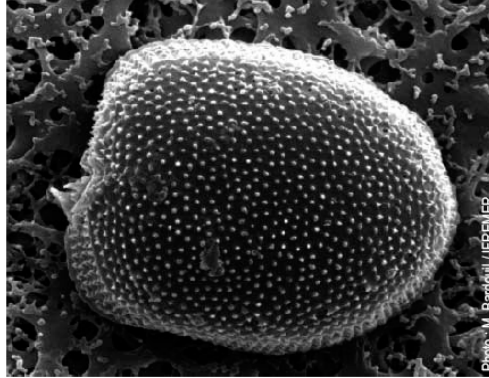


Figure 4 : *Prorocentrum minimum*  
(Source : Ifremer)

*Prorocentrum minimum* (figure ci-contre) est également une Dinophycée de la famille des Prorocentraceae. Espèce mixotrophe (hétérotrophe + autotrophe), adaptée à d'importantes variations de lumière, de salinité et de température, elle est capable d'accumuler d'importantes réserves nutritives. Ceci lui donne un avantage écologique certain. Cette espèce est responsable de phénomènes "d'eaux brune-rouge". Cette espèce fait des kystes temporaires (Grzebyk, 1993).

##### Toxicité

Certaines espèces du genre *Prorocentrum* produisent des DSP, d'autres ne sont pas toxiques mais provoquent une anoxie du milieu.

Un seul cas de toxicité humaine associée à *Prorocentrum minimum* a été avéré : au Japon en 1948. La toxine a été identifiée et nommée VSP : vénérupine. Les symptômes décrits étaient : douleurs abdominales, anorexie, nausées, vomissements, atteintes hépatiques...

Depuis, seuls des cas de toxicité sur la faune marine ont été mis en évidence. Parmi les souches de *Prorocentrum minimum* isolées en France, quatre produisent des PSP et une est non toxique mais colorent la chair des huîtres en rouge ; ceci limite la possibilité de commercialisation des huîtres.

##### Situation en France

Le premier bloom en France a été mis au jour en 1970 dans le golfe de Fos et depuis, les efflorescences sont nombreuses en Méditerranée. On la trouve globalement dans toutes les mers du monde mais elle ne fait des efflorescences importantes que dans l'hémisphère nord et particulièrement dans les estuaires.

Les résultats du REPHY (Ifremer) sont disponibles sur le lien suivant :

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/parammaps/phytoplankton/index.html>

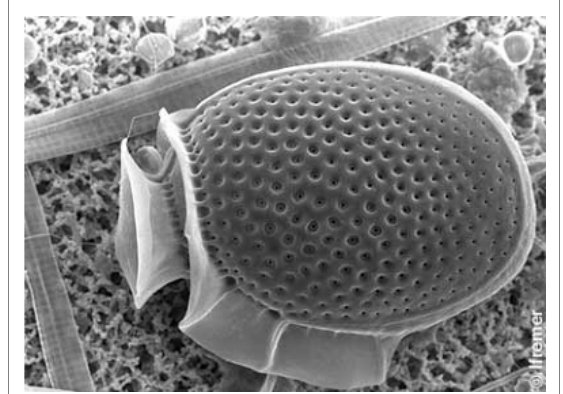


### 1.4.3 *Dinophysis* sp.

#### Écologie

*Dinophysis* sp. (figure ci-contre) est un ensemble d'espèces que l'on trouve dans toutes les mers du monde. Ce genre appartient à la famille des Dinophyceae qui compte environ 200 espèces. En France, on trouve essentiellement *D. acuminata* et *D. sacculus*. Elle ne provoque pas « d'eaux colorées » et ses floraisons dépassent rarement 100 000 cellules.l<sup>1</sup>.

Difficile à cultiver, les connaissances sur son cycle biologique sont limitées. Il semble que la turbulence verticale diminue ses capacités de multiplication alors qu'au contraire, la stratification de la colonne d'eau la favorise. La relation potentielle entre sa multiplication et les disponibilités en minéraux nutritifs est mal connue. Certaines espèces seraient en fait hétérotrophes (matière organique dissoute) ou phagotrophes (assimilation directe de proies). Certaines espèces sont capables de s'enkyster en attendant des conditions favorables à une floraison.



**Figure 5 : *Dinophysis* sp.  
(Source : Ifremer)**

#### Toxicité

Ces espèces sont également responsables de la synthèse de phycotoxines (ou DSP). La relation entre le nombre de *Dinophysis* dans l'eau et la toxicité DSP varie d'un site à l'autre de façon importante. Le paramètre qui semble corrélé à la toxicité est plutôt la proportion relative de *Dinophysis* dans la population phytoplanctonique totale.

Mesure de la toxicité : Injection à des souris d'un extrait de glandes digestives du coquillage. Le seuil de survie des souris a été fixé à 5 h par la santé publique.

Temps moyen de survie < 5 h ⇒ quantité dangereuse de toxines ⇒ Interdiction de ramassage et de commercialisation des coquillages.

Temps moyen de survie 5 h < > 24 h ⇒ Faible toxicité

Temps moyen de survie > 24 h ⇒ Absence de toxines.

#### Situation en France

En France, le littoral atlantique est le plus souvent touché par des efflorescences importantes. Entre 1984 et 1995 les efflorescences ont été 10 fois comprises entre 10 000 et 100 000 cellules par litre. Sur le littoral méditerranéen, les efflorescences n'ont jamais dépassé 10 000 cellules par litre.

Les résultats du REPHY (Ifremer) sont disponibles sur le lien suivant :

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/parammaps/phytoplancton/index.html>





## 1.5 Macrodéchets

Les macrodéchets sont constitués des objets de notre quotidien, ménagers et industriels, qui aboutissent dans le milieu marin et qui sont visibles à l'œil nu (par opposition aux micropollutions). Ils parviennent jusqu'à la mer par le biais du vent, des pluies ou de rejets directs. Les matières souvent non biodégradables qui les constituent font que ces déchets peuvent perdurer à long voire très long termes dans les océans. En 1975, l'Académie Nationale des Sciences (américaine) estime à 6 400 000 tonnes les quantités qui pénètrent annuellement dans les océans (Anaudo R., 1990). Depuis, de nombreuses publications scientifiques rapportent la présence de débris flottants, surtout de déchets en plastique sur toutes les mers et les océans (Carpenter E. J. et Smith K. L., 1972, Scott, G., 1972, Morris, 1980, Pruter, 1987, Matsumara et Nasu, 1997)<sup>3</sup>.

Leur hétérogénéité, leur solidité, leur composition, leur taille, leur visibilité ou encore leur durabilité en font un problème environnemental majeur dont la prise en compte est encore émergente. Les impacts potentiels des macrodéchets concernent :

- la faune marine (poissons, reptiles, mammifères et oiseaux marins), par ingestion (blocage du processus de la digestion, ulcérations et dommages à la paroi stomacale) et/ou enchevêtrement (blessures, entrave aux mouvements et affaiblissement qui entraînent parfois la mort).
- La dégradation de la qualité biologique des fonds sur lesquels ils se déposent.
- La pollution physico-chimique des milieux par diffusion des éléments qui les composent. Les macrodéchets, majoritairement constitués de plastiques, se fragmentent successivement en particules de plus en plus petites et jusqu'à former un « nanoplankton ». La désintégration entraîne une augmentation de la surface en contact avec le milieu et les particules ont la capacité d'adsorber les polluants présents dans le milieu marin. Les conséquences environnementales de cette « miniaturisation » sont encore mal connues alors que les particules rentrent dans la chaîne alimentaire des organismes marins ou des espèces aviaires.

Suite à l'engagement 91 du Grenelle de l'Environnement d'octobre 2007, le Comité Opérationnel Déchets a préconisé la définition d'un plan coordonné visant à réduire les macrodéchets. Ce plan devrait impliquer le public, les gestionnaires de déchets, les marins pêcheurs et autres métiers concernés, ainsi que le monde du transport maritime, en cohérence avec la convention internationale MARPOL sur la prévention des pollutions depuis les navires<sup>4</sup>.

Les fonds portuaires sont des zones d'accumulation de macro-déchets qui se mêlent aux vases portuaires et se retrouvent dans les sédiments de dragage. Les immersions des dépôts de dragage peuvent, à ce titre, être des vecteurs de diffusion et de redistribution des macro-déchets vers le milieu naturel.

---

<sup>3</sup> I. Poitou, 2004. Les macrodéchets : une gestion publique empirique. Etude du littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur », Institut d'Aménagement Régional d'Aix-en-Provence, Université de droit, d'économie et de sciences d'Aix-Marseille III. 2004.

<sup>4</sup> Recommandations pour un plan coordonné de réduction des macrodéchets flottants ou échoués dans les fleuves, les ports, le littoral et en mer. Groupe de travail déchets en milieux aquatiques. Grenelle de l'Environnement, 7 mai 2009.



## 1.6 Activités radiologiques

Quatre sources principales sont à l'origine de la présence de radioéléments dans le milieu naturel en France :

- La radioactivité naturelle due aux rayons cosmiques et aux radioéléments naturels de l'écorce terrestre,
- Les retombées des tirs atmosphériques effectués dans l'hémisphère nord de la planète,
- Les retombées d'accidents tel celui de Tchernobyl,
- Les rejets autorisés des installations nucléaires et autres établissements (hôpitaux ...) qui rejettent des effluents de faible activité.

Il ressort des connaissances actuelles que sept radionucléides artificiels présenteraient des activités mesurables et en lien directs avec les activités industrielles. Ce sont le  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}$  et  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^3\text{H}$  et  $^{14}\text{C}$ , la présence de tritium  $^3\text{H}$  et de  $^{14}\text{C}$  ayant aussi des origines naturelles. Parmi ceux-ci, seules les concentrations en  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}$  et  $^{240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$  sont dites exploitables par l'IRSN.

En dehors de tout apport connu, les concentrations de ces radionucléides dans les sédiments sont particulièrement influencées par les apports dus aux retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986. En prenant pour exemple les concentrations en  $^{137}\text{Cs}$ , présent dans les eaux sous formes dissoutes principalement, il a été montré une homogénéisation spatiale des teneurs dans les sédiments sous l'effet du courant liguro provençal à l'échelle du bassin méditerranéen nord occidental. En zone littorale, les teneurs et leurs variations sont directement liées aux apports par les fleuves et donc aux concentrations drainées dans les bassins versants. Toujours dans le cas du  $^{137}\text{Cs}$ , les concentrations sont variables dans les horizons sédimentaires et à l'embouchure du Rhône, les activités varient jusqu'à 20Bq/kg de sédiment sec dans les dix premiers centimètres pour atteindre des valeurs allant jusqu'à 100Bq/kg dans les sédiments compris entre 2 et 3 m de profondeur.

Le tableau, ci-après, précise les différentes origines des radioéléments susceptibles d'être rencontrés dans l'hydrosystème. Il peut servir de guide pour justifier le suivi de certains d'entre eux dans le milieu naturel.



Radioélément	naturelle		artificielle		
	atmosphérique	Tellurique*	tirs	Tchernobyl	installations nucléaires
<sup>7</sup> Be					
<sup>65</sup> Zn					
<sup>110m</sup> Ag					
<sup>57</sup> Co					
<sup>144</sup> Ce					
<sup>54</sup> Mn					
<sup>106</sup> Ru					
<sup>125</sup> Sb					
<sup>134</sup> Cs					
<sup>60</sup> Co					
<sup>3</sup> H					
<sup>90</sup> Sr					
<sup>137</sup> Cs					
<sup>238</sup> Pu					
<sup>241</sup> Am					
<sup>226</sup> Ra					
<sup>14</sup> C					
<sup>239</sup> Pu					
<sup>40</sup> K					
<sup>238</sup> U					
<sup>232</sup> Th					

- Ag** : argent
- Am** : américium
- Be** : béryllium
- C** : carbone
- Ce** : cérium
- Co** : cobalt
- Cs** : Césium
- <sup>3</sup>H** : tritium
- K** : potassium
- Mn** : manganèse
- Pu** : plutonium
- Ra** : radium
- Ru** : ruthénium
- Sb** : antimoine
- Sr** : strontium
- Th** : thorium
- U** : uranium
- Zn** : zinc

Figure 6 : Origine des radioéléments susceptibles d'être présents dans l'hydrosystème



Les éléments émettent trois types de radiation, celles-ci sont présentées avec les durées de vie (périodes) des substances dans le tableau ci-après.

Radioélément	Période en jour (j) ou en années (a)	Type de rayonnement mesuré
<sup>65</sup> Zn	245 j	gamma
<sup>110m</sup> Ag	249.8 j	
<sup>57</sup> Co	270 j	
<sup>144</sup> Ce	285 j	
<sup>54</sup> Mn	291 j	
<sup>106</sup> Ru	1 a	
<sup>125</sup> Sb	2 a	
<sup>134</sup> Cs	2.1 a	
<sup>60</sup> Co	5.3 a	
<sup>137</sup> Cs	30 a	
<sup>40</sup> K	1.28*10 <sup>9</sup> a	
<sup>238</sup> U	4.5*10 <sup>9</sup> a	
<sup>241</sup> Am	458 a	
<sup>226</sup> Ra	1622 a	
<sup>232</sup> Th	1.4*10 <sup>10</sup> a	
<sup>3</sup> H	12 a	bêta
<sup>90</sup> Sr	28 a	
<sup>14</sup> C	5600 a	alpha
<sup>238</sup> Pu	87.7 a	
<sup>240</sup> Pu	6.6*10 <sup>3</sup> a	
<sup>239</sup> Pu	2.4*10 <sup>4</sup> a	

**Figure 7 : Rayonnement et périodes des principaux radioéléments**

En cas de suspicion de présence d'un ou de plusieurs radionucléides à une activité anormale dans des sédiments à draguer, liée à un contexte géographique particulier ou à la proximité d'une activité industrielle particulière, le risque peut être caractérisé par la mesure de cette activité puis la détermination de la classe d'activité des matériaux.



## 2 Quantités de matériaux

La quantité de matériaux à draguer et immerger affecte directement l'ampleur de l'impact de l'opération sur l'environnement et donc le programme de suivi associé. Le volume de matériaux agit sur deux facteurs majeurs d'impact : l'étendue des perturbations physiques et les flux de contaminants.

### 2.1 Surface et profondeur d'extraction sur les sites de dragage

Au niveau des sites de dragage, la quantité de matériaux est directement liée aux objectifs de profondeur et de surface à atteindre. Plus ces paramètres sont importants et plus l'ampleur de l'impact sur les fonds l'est aussi :

- l'augmentation de la surface de dragage entraîne inévitablement une augmentation du benthos prélevé et détruit ;
- l'augmentation de la profondeur favorise la création de milieux anoxiques entraînant une recolonisation plus lente et une transition des communautés vers des cortèges d'espèces plus tolérantes à ces conditions ;
- l'augmentation de la profondeur accroît le risque d'atteinte de substrats différents et donc de modification des habitats à long terme.

A ce titre, le volume conditionne directement la stratégie d'échantillonnage au niveau du site de dragage (nombre et densité de stations, fréquence des prélèvements, durée du suivi) mais également les critères de suivi pouvant être retenus.

Outre les impacts directs sur les fonds, l'augmentation des volumes de dragage accroît également les risques de perturbations des conditions hydrodynamiques et hydro-sédimentaires. Plus une souille sera importante, plus les risques de modifications de l'agitation et de la courantologie, seront importants.

### 2.2 Surface et épaisseur de dépôt sur les sites d'immersion

La superficie des fonds recouverts et donc impactés par les dépôts va dépendre des quantités de sédiments immergés et de la technique d'immersion retenue. En fonction de la bathymétrie et des enjeux d'environnement et d'usages, on pourra privilégier un dépôt épais sur une faible surface ou au contraire un dépôt peu épais sur une surface relativement étendue.

De manière générale, on peut considérer qu'une augmentation des volumes immergés entraîne une augmentation de l'emprise du dépôt sur les fonds. L'impact sur les écosystèmes est ensuite à évaluer au regard de la sensibilité des espèces et des habitats en place.

Face à d'importants volumes de matériaux et à des impacts directs, inévitables sur les fonds, des techniques particulières peuvent néanmoins être mises en œuvre pour les minimiser.



**Exemple : influence de la quantité de matériaux sur l'impact du benthos et les suivis associés**

Pour le benthos par exemple, plus la surface de dépôt est importante, plus l'impact à court terme de l'enfouissement est grand.

Le retour à des communautés benthiques similaires est facilité par des caractéristiques physiques entre les matériaux immergés et les sédiments en place relativement similaires. Un dépôt fin et lent sur une surface importante pourra d'autant plus faciliter une recolonisation plus rapide par migration progressive des espèces mobiles vers la surface du dépôt.

Dans le cas contraire, la différence de matériaux peut engendrer une évolution significative des communautés benthiques sur le long terme.

En fonction du parti retenu, le volume de matériaux immergés influence donc la stratégie d'échantillonnage pour les suivis sur le compartiment sédimentaire :

- Nombre de points de mesure ;
- Répartition spatiale et densité des points de mesures ;
- Fréquence des prélèvements en fonction de la dynamique que l'on s'attend à observer et valider ;

La durée des suivis est également amenée à varier en fonction de la dynamique de recolonisation.

Outre les impacts directs sur les fonds, la quantité de matériaux immergés influence aussi directement les risques de perturbation des conditions hydrodynamiques et des régimes hydro-sédimentaires.

### 2.3 Volume de matériaux et flux polluants

Selon les situations, un maître d'ouvrage peut avoir à draguer de forts volumes faiblement contaminés, de faibles volumes fortement contaminés ou encore se trouver face à des situations intermédiaires. Ces différentes situations impliquent de ne pas seulement raisonner en termes de concentrations de toxiques dans les matériaux mais également en termes de flux. Ces flux sont directement conditionnés par le volume de matériaux mobilisés.

En effet, si ce sont bien les concentrations de contaminants qui servent à évaluer les risques sanitaires ou écotoxicologiques en un point donné, la notion de pollution totale doit également être appréciée pour évaluer les impacts du projet sur l'environnement, et particulièrement dans le milieu marin, réceptacle où ces contaminants s'accumulent.



### 3 Outils de dragage

Les techniques de dragage influencent directement les impacts environnementaux des opérations et donc les suivis susceptibles d'être mis en œuvre à la suite. Si ce guide cible essentiellement les impacts associés aux techniques de dragage les plus fréquentes (dragues aspiratrices et mécaniques), ce chapitre rappelle néanmoins les avantages et inconvénients des techniques de dragage existantes.

#### ***Dragues aspiratrices***

##### ➤ **Dragues aspiratrices stationnaires**

- Augmentation des matières en suspension (MES) : en l'absence de désagrégateur en rotation, la remise en suspension lors du dragage est relativement faible. Elle est cependant plus forte pour les sédiments argileux et silteux que pour le sable, surtout grossier.
- Sélectivité : la drague laisse un fond irrégulier après son passage en raison de son mode opératoire. Le dragage sélectif de différentes couches de sédiments est difficile.

##### ➤ **Dragues aspiratrices en marche**

- Comparativement aux dragues aspiratrices à désagrégateur, l'absence de dispositif rotatif réduit les risques de remise en suspension au niveau de la tête d'élinde. L'utilisation de ce type d'engins est peu recommandée en milieu pollué et dans les zones sensibles en raison de la perte au moment du chargement (surverses) et durant le transport vers la zone de dépôt.

#### ***Dragues niveleuses***

- Le principe même est de créer un nuage de densité pour remettre en suspension le sédiment. Les conditions d'opération doivent donc être soigneusement contrôlées pour éviter les effets dus aux remises en suspension des sédiments.

#### ***Dragues mécaniques***

- Augmentation des MES : cette drague peut occasionner des pertes importantes de matériaux dragués et elle est donc rarement utilisée pour l'excavation de sédiments fins. Les dragues à benne preneuse peuvent provoquer une remise en suspension importante des sédiments lors de l'impact de la benne sur le fond, lors de la pénétration de la benne et à la montée de la benne d'où peuvent s'échapper les sédiments dragués, lors du déversement en eaux libres. La nature des sédiments, surtout ceux à granulométrie fine et de texture non cohésive, la vitesse de remontée de la benne vers la surface et à la sortie de l'eau et l'état de celle-ci conditionnent aussi la perte des matériaux.
- Sélectivité : difficulté d'avoir une coupe horizontale, en raison de la profondeur d'excavation qui peut être différente à chaque coup de benne. Impossibilité de sélectionner des couches différentes.
- Dilution : de l'eau additionnelle est introduite dans la barge de transport à chaque déchargement de la benne.



***Dragages  
hydrodynamiques***

- Augmentation des matières en suspension (MES) et dispersion des particules (Limitée pour le dragage à injection d'eau) ;
- Non préconisé pour des matériaux pollués.

***Biodragages***

- Ajout d'amendement dont les effets sur l'environnement doivent être pris en compte ;
- Les retours d'expérience sur ce type de technique sont relativement limités.

***Fluidification de  
vase ou Active  
Nautical Depth***

- Manque de retours d'expériences sur l'impact de la fluidification des vases sur le compartiment benthique et sur la capacité de déplacement des vases fluidifiées.





## 4 Critère spécifique de milieu : le régime hydro-sédimentaire

Le régime hydro-sédimentaire conditionne directement :

- la dilution des matières en suspension issues des matériaux immergés ou des opérations de dragage ;
- la reprise et le charriage des éléments fins sur les fonds ;
- la stabilité des dépôts et l'évolution de leur cheminement sur les fonds ;
- la stabilité des zones draguées et la fréquence des besoins de dragage qui en découle.

Sa connaissance permet ainsi de mieux cerner la zone d'influence du projet et d'orienter certains aspects du protocole de suivi.

### 4.1 Dispersion des matières en suspension

Que ce soit pour des opérations de dragage ou des opérations d'immersion, une des considérations majeures de l'évaluation environnementale est l'empreinte géographique potentielle que peuvent avoir ces opérations en dehors des périmètres immédiats de travaux (zone à draguer et zone de dépôt).

En milieu aquatique, le vecteur principal d'impact est l'eau et ce sont les conditions hydrodynamiques locales qui vont conditionner l'étendue spatiale de ce vecteur. Aussi sa prise en compte est indispensable pour évaluer le potentiel de dispersion d'un panache turbide généré au niveau d'un site de dragage ou d'un site d'immersion : les objectifs de suivi découlent directement de l'estimation du risque d'atteinte d'éléments sensibles comme des zones conchylicoles, des habitats particuliers ou des zones de baignade.

Sa connaissance permet ainsi de retenir ou non des critères de suivi, et de définir une stratégie d'échantillonnage adéquate (localisation des stations et fréquence des prélèvements).

### 4.2 Qualité ambiante des eaux – Taux de matières en suspension

Les matières en suspension sont au cœur des problématiques de dragage et d'immersion du fait de la remise en suspension des matériaux et de la création de panaches turbides. En interceptant en partie la lumière, elles peuvent constituer une source de perturbation pour des éléments biologiques, comme les végétaux sous-marins (herbiers) ou les invertébrés filtreurs (benthos). En se déposant et s'incorporant aux sédiments, ces particules vont ensuite modifier la structure et le degré de contamination des fonds.

Naturellement présentes dans les eaux littorales, elles sont composées à la fois de particules minérales et d'éléments d'origine organique. Les particules minérales proviennent des apports terrigènes (bassins versants, fleuves, estuaires, lagunes littorales, émissaires de station d'épuration), mais aussi de la remise en suspension des sédiments marins sous l'effet de la houle. Les particules organiques correspondent notamment au plancton. On notera que cette problématique de matières en suspension est moins prégnante dans les estuaires où les taux sont naturellement élevés du fait des matériaux véhiculés par les fleuves depuis les bassins versants.



Du fait de leurs multiples origines possibles et de l'influence des conditions météorologiques et océanographiques, la teneur des matières en suspension dans les eaux est très variable. Il est indispensable de prendre cette variation en compte :

- lors de l'évaluation environnementale pour apprécier l'impact relatif d'un panache turbide sur la qualité des eaux ;
- lors de l'élaboration du programme de suivi, au regard du seuil de référence auquel seront comparés les résultats de suivi en phase travaux.

La connaissance du régime hydro-sédimentaire d'une zone permet donc d'apprécier la dynamique de reprise des éléments fins sur les fonds, et le risque de perturbation de l'environnement à court et long terme associé à l'apport de matériaux fins dans la colonne d'eau et sur les fonds dans le cadre d'opérations de dragage et d'immersion.

Dans ce contexte, la connaissance du régime hydro-sédimentaire peut conduire à retenir ou non certains critères de suivi (qualité des eaux par exemple) et influencer la durée de leurs suivis (suivi en période de travaux et suivi à long terme).

#### 4.3 Dynamique du transit sédimentaire

Le régime hydro-sédimentaire conditionne la stabilité des sédiments immergés sur les fonds. Des conditions d'hydrodynamisme fort et de transit sédimentaire actif favoriseront la reprise la dispersion des matériaux sur les fonds et dans la colonne d'eau ; l'étendue de la zone d'influence du projet sera potentiellement plus importante que pour une immersion en zone stable où les dépôts restent relativement localisés.

Sur les zones de dragage, le régime hydro-sédimentaire conditionne le comblement des chenaux et des zones portuaires et donc la fréquence des besoins de dragage.

Pour ces deux cas, la connaissance du régime hydro-sédimentaire permet d'optimiser la stratégie d'échantillonnage :

- Localisation des stations d'investigation : positionnement par rapport aux courants dominants, couverture de la zone d'influence pressentie, etc.
- Le nombre de stations d'investigation : couverture adaptée à l'étendue potentielle des impacts ;
- La fréquence d'échantillonnage : adaptation à la dynamique d'évolution attendue.

geode

**Nous contacter**

courriel : ***[geode@nantes.port.fr](mailto:geode@nantes.port.fr)***

téléphone contact : **02 40 44 20 99**

Site internet : **<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/club-geode-r65.html>**