



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

Opération de dragages – Approfondissement du terminal à conteneurs de Fos - Approfondissement pour l'extension des capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)



Dossier d'Enquête Publique au titre des art. L123-1 à L123-16 du Code de l'Environnement et de demande d'autorisations au titre des art. L214-1 à L214-6 du Code de l'Environnement issus de la loi sur l'Eau et des art. L218-42 à L218-58 du Code de l'Environnement relatifs aux opérations d'immersion

Dossier 100438
2001

Novembre



Port Pin-Rolland 83340 Saint-Mandrier/Mer
04.94.87.32.54 – Fax : 04.94.30.52.16

BP 58 34140 Mèze
04.67.18.46.20 – Fax : 04.67.18.46.29

S O M M A I R E

PREAMBULE.....	3
OBJETS	
CADRE REGLEMENTAIRE.....	5
COMPOSITION DU DOSSIER COMMUN.....	6
PIECE 1 : NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR.....	10
PIECE 2 : EMBLEMES SUR LESQUELS LES TRAVAUX DE DRAGAGE ET DE DÉPÔT DOIVENT ÊTRE RÉALISÉS.....	13
PIECE 3 : NATURE, CONSISTANCE, VOLUME ET OBJET DES TRAVAUX AINSI QUE LA RUBRIQUE DANS LAQUELLE L'OPÉRATION DOIT ÊTRE RANGÉE.....	17
3.1 – PRESENTATION DES OPERATIONS.....	17
3.2 - OBJECTIFS DE L'OPÉRATION.....	17
3.2.1 - Evolutions du trafic conteneurisé au Port de Marseille.....	17
3.2.2 – Perspectives du trafic conteneurisé au Port de Marseille.....	18
3.2.3 – Perspectives du trafic conteneurisé en Méditerranée.....	19
3.3 – NATURE ET CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX PROJETS.....	20
3.4 – VOLUME DES TRAVAUX.....	22
3.5 – RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE DANS LESQUELLES L'OPERATION DOIT ÊTRE RANGÉE.....	25
PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT.....	27
4.1 – RESUME NON TECHNIQUE.....	36
4.2 – ETAT INITIAL.....	36
4.2.1 - Situation géographique.....	36
4.2.2 - Données météorologiques.....	36
4.2.3 - Caractéristiques géologiques.....	41
4.2.4 - Caractéristiques hydrogéologiques.....	42
4.2.5 - Bathymétrie et topographie de la zone.....	43
4.2.6 - Caractéristiques sédimentologiques.....	44
4.2.7 - Conditions hydrodynamiques.....	54
4.2.8 - Qualité du milieu.....	65
4.2.9 - Flore et faune marines au large du Golfe de Fos.....	74
4.2.10 - Flore et faune marines en darse 2.....	97
4.2.11 - Zone du CABAN.....	99
4.2.12 - Usages et activités.....	129
4.2.13 - Trafic maritime.....	153
4.2.14 - Poids socio- économique des activités industrialo- portuaires de Fos- Marseille.....	157

4.3 - CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES ZONES À DRAGUER.....	158
4.3.1 - Plan d'échantillonnage.....	158
4.3.2 - Mode de traitement des résultats.....	163
4.3.3 - Résultats d'analyse.....	163
4.4 - DESCRIPTION DES TRAVAUX.....	179
4.4.1 - Nature et volume des travaux.....	179
4.4.2 - Période(s) et calendrier des opérations de dragage.....	181
4.4.3 - Techniques de dragage.....	182
4.4.4 - Devenir des matériaux dragués. Techniques employées.....	186
4.4.5 - Justification du choix des techniques retenues.....	187
4.5 - CHOIX DU DEVENIR DES MATERIAUX FINIS DRAGUES. ANALYSE MULTICRITERES. JUSTIFICATIONS.....	189
4.5.1 - Généralités.....	189
4.5.2 - Méthodologie.....	189
4.5.3 - Résultats.....	192
4.6 - INCIDENCES DES OPERATIONS.....	211
4.6.1 - Opérations de dragage.....	211
4.6.2 - Opérations de transport des matériaux.....	219
4.6.3 - Dépôt sur le terre-plein et immersion des matériaux.....	219
4.6.4 - Incidences des opérations projetées sur la santé humaine.....	254
4.6.5 - Incidences socio-économiques.....	254
4.7 - ANALYSE DES METHODES UTILISÉES POUR EVALUER LES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT.....	256
4.7.1 - Analyse des méthodes utilisées.....	256
4.7.2 - Difficultés techniques rencontrées.....	258
4.8 - MESURES ENVISAGEES POUR SUPPRIMER, REDUIRE ET SI POSSIBLE, COMPENSER LES CONSEQUENCES DOMMAGEABLES DU PROJET.....	262
4.8.1 - Mesures générales.....	262
4.8.2 - Mesures particulières au domaine maritime.....	263
4.9 – BIBLIOGRAPHIE.....	266
4.10 – GLOSSAIRE.....	271
PIECE 5 : MOYENS DE SURVEILLANCE PREVUS ET, SI L'OPÉRATION PRÉSENTE UN DANGER, LES MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT..	277
5.1 - MOYENS DE SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DES SITES.....	277
5.1.1 - Justification.....	277
5.1.2 - Sites de dragage.....	278
5.1.3 - Sites de clapage.....	278
5.2 - MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT.....	281
PIECE 6 : ELEMENTS GRAPHIQUES, PLANS ET CARTES UTILES A LA COMPREHENSION DES PIECES DU DOSSIER, NOTAMMENT LES PIECES 3 ET 4.....	284

PREAMBULE

OBJET

Dans le cadre du développement des trafics du port, et plus spécifiquement celui des marchandises conteneurisées, le Port Autonome de Marseille envisage de développer les capacités d'accueil du Terminal à conteneurs existant et d'étendre ces capacités par la création d'un nouveau Terminal à conteneurs (projet Fos 2XL).

Cet accroissement passe par le renforcement de la capacité à traiter des navires aux possibilités de transport plus importantes, soit des porte-conteneurs plus longs, plus larges et qui présentent un tirant d'eau plus élevé.

L'opération projetée comprend trois phases qui s'inscrivent dans deux projets :

1^{er} projet, Adaptation du terminal à conteneurs actuel,

1^{ère} phase Approfondissement du chenal et du bassin au droit du terminal actuel, pour y porter le tirant d'eau admissible à 14,5 m.

2^{ème} projet, Aménagement des accès nautiques pour l'extension de Fos conteneurs

2^{ème} phase Approfondissement du bassin situé au droit de la zone prévue pour le futur terminal, en vue d'accueillir un navire de tirant d'eau à 14,5 m.

3^{ème} phase Approfondissement de l'ensemble du chenal et du bassin, en vue d'accueillir un navire de tirant d'eau de 16 m.

La réalisation de cette opération demande donc un approfondissement de la darse 2 et du chenal d'accès, soit des travaux de dragage à réaliser sur plusieurs années.

Les matériaux extraits seront soit utilisés dans les travaux de remblaiements de quais, de terrains ou de terre-pleins ou bien immergés en mer.

Ce sont ces travaux de dragage qui doivent être soumis à une instruction administrative réglementaire comprenant une enquête publique au titre de la loi sur l'eau (1992), de la loi relative à la démocratisation des enquêtes

publiques et à la protection de l'environnement (1983) et la loi immersion (1976).

CADRE REGLEMENTAIRE

Depuis septembre 2000, les textes réglementaires sont repris dans le Code de l'Environnement¹ (J.O. numéro 2219 du 21 septembre 2000 : Ordonnance n°2000-914 du 18 septembre 2000 et annexe «Code de l'Environnement, partie législative»). La loi sur l'eau correspond aux articles L214- 1 à L214- 6, et la loi Immersion, aux articles L218- 42 à L218- 56, et L218- 58.

Ainsi, au titre du Code de l'Environnement, cette opération est soumise à plusieurs obligations :

- l'enquête publique est obligatoire du fait des article L123- 1 à L123- 16 du Code de l'Environnement ;
- une étude d'impact est obligatoire conformément aux articles L122- 1 à L122- 3 du Code de l'Environnement. L'étude d'impact est la pièce maîtresse du dossier d'enquête publique ;
- Cette opération nécessite une autorisation de l'autorité administrative assortie de l'enquête publique². En effet, cette opération est soumise à autorisation au titre de l'article L-214- 3 du Code de l'Environnement.
- Les rubriques de la nomenclature (décret 93- 743 modifié) concernées sont :
 - « 3.2.0 – Rejets en mer ou en zone estuarienne à l'aval du front de salinité, à l'exclusion des rejets visés par les rubriques 3.4.0, 5.1.0, 5.2.0 et 5.3.0 :

1° Le flux total de pollution brute :

a) Etant supérieur ou égal à l'une des valeurs indiquées ci-après :

Matières en suspension (MES) : 180 kg/j ;

DBO5 : 120 kg/j ;

DCO : 240 kg/j ;

Matières inhibitrices (MI) : 200 équitox/j ;

Azote total (N) : 24 kg/j ;

Phosphore total (P) : 6kg/j ;

Composés organohalogénés absorbables sur charbon actif (AOX) : 50 g/j ;

Métaux et métalloïdes (Metox) : 250 g/j ;

¹ Le Code de l'Environnement a été publié au Journal Officiel le 21 septembre 2000. Ce nouveau code reprend tout ou partie d'un ensemble de 39 lois précédemment dispersées. Il incorpore également l'ancien livre II du Code Rural réparti entre le livre III (espaces naturels protégés) et IV (faune, flore, chasse et pêche) du Code de l'Environnement.

² Code de l'Environnement, LIVRE II, TITRE I^{er}, Chapitre IV : activités, installations et usages, Section 1 : régimes d'autorisation ou de déclaration, articles L 214- 3 et L 214- 4.

Hydrocarbures : 1 kg/j. »

- « 3.3.0 – Travaux de création d'un port maritime ou d'un chenal d'accès ou travaux de modification des spécifications théoriques d'un chenal existant » ;
- « 3.3.1 -- Travaux d'aménagements portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu aquatique et ayant une incidence directe sur ce milieu.

1^e – D'un montant supérieur ou égal à 12 000 000 F (1 900 000 €) ou ayant pour effet de modifier d'au moins 10% la surface des plans d'eau abrités des ports » ;

- « 3.4.0 -- Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin ou estuarien jusqu'au front de salinité.

3^e - Dont la teneur des sédiments extraits est inférieure ou égale au niveau de référence N1 pour l'ensemble des éléments qui y figurent.

a) Et dont le volume *in situ* dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 500 000 m³» ;

- Le dossier de demande d'autorisation au titre de l'article L214-3 du Code de l'Environnement (décret d'application 93-742 du 29 mars 1993 et décret 82-842 du 29 septembre 1982) comporte notamment un document mentionnant :

La justification du recours au procédé de l'immersion comme moyen d'élimination des déchets ;

la situation de la zone d'immersion, ses caractéristiques physiques, biologiques et hydrologiques, et la justification en ce qui concerne l'environnement et la sécurité ;

les incidences de l'opération sur la ressource en eau, sur le milieu aquatique (faune et flore marines), l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux et les activités qui s'exercent en mer ;

Conditions techniques des immersions.

- Ce document peut être remplacé par l'étude d'impact qui vaut donc document d'incidences comme l'autorise la réglementation (article 2 du décret 93-742 du 29 mars 1993).

COMPOSITION DU DOSSIER COMMUN

La composition du dossier commun de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau, de la loi relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement, et de la loi immersion est la suivante :

- Pièce 1. Nom et adresse du demandeur ou du pétitionnaire ;

- Pièce 2. Situation ou emplacement sur lequel l'installation, l'ouvrage, les travaux où l'activité doivent être réalisés ;
- Pièce 3. Nature, consistance, volume et objet des installations et caractéristiques des zones de dragage ainsi que la ou les rubriques de la nomenclature dans lesquelles l'opération doit être rangée ;
- Pièce 4. Etude d'impact :
 - Etat initial des sites ;
 - Caractéristiques des zones à draguer ;
 - Description des travaux ;
 - Choix du devenir des matériaux fins. Justification ;
 - Incidences des opérations ;
 - Analyse des méthodes utilisées pour évaluer les effets du projet sur l'environnement ;
 - Mesures envisagées pour supprimer, réduire et si possible compenser les conséquences dommageables du projet ;
 - Bibliographie et Glossaire.
- Pièce 5. Moyens de surveillance prévus et, si l'opération présente un danger, les moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident ;
- Pièce 6 Eléments graphiques, plans et cartes utiles à la compréhension des pièces du dossier, notamment les Pièces 3 et 4.



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

**Opération de dragages – Approfondissement
du terminal à conteneurs de Fos -
Approfondissement pour l'extension des
capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)**



PIECE 1. Nom et adresse du demandeur



PIECE 1 :

NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR

PORT AUTONOME DE MARSEILLE

Monsieur le Directeur Général du Port Autonome de Marseille

23, place de la Joliette

BP 1965

13226 MARSEILLE CEDEX 02

Tél. : 04 91 39 40 00

Fax : 04 91 39 57 00

e- mail : pam@marseille-port.fr



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

**Opération de dragages – Approfondissement
du terminal à conteneurs de Fos -
Approfondissement pour l'extension des
capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)**



***PIECE 2. Emplacement sur lesquels les travaux de
dragage et de dépôt doivent être réalisés***



PIECE 2 :

EMPLACEMENTS SUR LESQUELS LES TRAVAUX DE DRAGAGE ET DE DÉPÔT DOIVENT ÊTRE RÉALISÉS

1) Travaux de dragage

Port Autonome de Marseille

Bassins Ouest

Darse n°2 et son chenal d'accès

2) Travaux d'immersion

Au large du Delta du Rhône

3) Dépôt terrestre

Au môle Graveleau

Figure 2.1 : carte de situation des emplacements sur lesquels les travaux de dragage seront effectués et des zones projetées pour le devenir des matériaux extraits



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

**Opération de dragages – Approfondissement
du terminal à conteneurs de Fos -
Approfondissement pour l'extension des
capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)**



***PIECE 3. Nature, consistance, volume et objet des travaux
ainsi que la rubrique dans laquelle l'opération doit être
rangée***



PIECE 3 :

NATURE, CONSISTANCE, VOLUME ET OBJET DES TRAVAUX AINSI QUE LA RUBRIQUE DANS LAQUELLE L'OPÉRATION DOIT ÊTRE RANGÉE

3.1 – PRESENTATION DES OPERATIONS

L'opération projetée comprend plusieurs phases qui s'inscrivent dans deux projets :

1^{er} projet, Adaptation du terminal à conteneurs actuel,

1^{ère} phase Approfondissement du chenal et du bassin au droit du terminal actuel,

2^{ème} projet, Aménagement des accès nautiques pour l'extension de Fos conteneurs

2^{ème} phase Approfondissement du bassin situé au droit de la zone prévue pour le futur terminal,

3^{ème} phase Approfondissement de l'ensemble du chenal et du bassin.

3.2 - OBJECTIFS DE L'OPÉRATION

3.2.1 - Evolutions du trafic conteneurisé au Port de Marseille

La conteneurisation des marchandises diverses a caractérisé dès 1975 l'évolution du commerce maritime international. Ainsi, de 1975 à 1999, le trafic de marchandises conteneurisés en tonnage a plus que doublé (+111,4%) alors que dans le même temps le commerce international ne croissait que de 39%. De plus, si

le trafic des marchandises conteneurisées reste peu prépondérant dans le tonnage transporté (20%), il cumule en revanche 80% de la valeur.

Depuis sa création en 1973, le terminal à conteneurs de Fos contribue à la croissance du conteneur dans le port de Marseille (**Tableau 3.1**). Au début des années 80, le terminal de Fos accueillait 60 lignes maritimes et desservait 127 ports dans le monde entier. A la fin 1999, on compte 182 lignes au départ de Fos qui desservent plus de 300 ports dans le monde en escales directes ou en transbordements.

	Bassin Ouest	Bassin Est	TOTAL
1970	21		21
1975	694	307	1 001
1980	1 495	1 412	2 907
1985	2 815	1 614	4 429
1990	3 376	1 996	5 372
1995	2 938	2 313	5 251
1999	3 633	2 929	6 562
2000	4 055	3 110	7 165
2001 ⁽¹⁾	2 617	1 585	4 202

(1) trafic cumulé pour les sept premiers mois de l'année.

Tableau 3.1 : trafic conteneurs de Marseille/Fos de 1970 à 2001 (en milliers de tonnes)

On constate qu'entre 1975 et 1999, le trafic conteneurisé du Port de Marseille est caractérisé par une très forte croissance (le tonnage est multiplié par 5). Ainsi, en 1999, le Port de Marseille représentait 15% du Commerce Extérieur Maritime Français.

3.2.2 – Perspectives du trafic conteneurisé au Port de Marseille

Il est à noter que le trafic conteneurisé opéré à Fos ne pourrait pas l'être dans sa grande majorité dans les bassins de Marseille en raison de capacités nautiques insuffisantes de ces derniers. Cette remarque est très importante dans le contexte du projet Fos 2XL. En effet le segment de marché visé, les gros porte conteneurs, ne peut être opéré que dans les bassins Ouest (**Tableaux 3.2 et 3.3**).

	2000	2005	2010
Marseille	310 904	408 932	536 504
Fos	411 541	525 149	706 826
Total	722 445	934 082	1 243 330

Tableau 3.2 : évolution par bassin du trafic conteneurisé dans le scénario « hypothèse moyenne » (en EVP)

Nota : les chiffres sont exprimés en Equivalent Vingt Pieds (EVP), il s'agit de la norme internationale fixant les dimensions standard d'un conteneur, le chiffre annuel exprime donc un nombre de conteneurs d'une dimension égale à 20 pieds (6,1 m x 2,46 m x 2,46 m). Il existe 2 types principaux de conteneurs : 20 pieds et 40 pieds, un conteneur de 40 pieds étant comptabilisé comme un double EVP.

	2000- 2005	2005- 2010
Marseille	5,6 %	5,6 %
Fos	5 %	7,4 %
Total	5,3 %	5,9 %

Tableau 3.3 : taux de croissance annuel du trafic conteneurisé « hypothèse moyenne »

La tendance lourde est au développement régulier de l'activité liée aux conteneurs sur le Port Autonome de Marseille.

3.2.3 – Perspectives du trafic conteneurisé en Méditerranée

Le haut niveau de concurrence entre les armateurs, mais aussi les besoins du marché en terme de capacité de transports ont conduit à une augmentation de la taille (capacité) et de la vitesse des navires. L'objectif visé était de réduire au maximum les charges d'exploitation et par la même le coût de transport d'un conteneur. Les caractéristiques des navires en commande ont traduit cette course au gigantisme en passant des seuils : 4800, 5500, 6000 EVP.

Cette augmentation de la taille des navires s'est évidemment traduite par la nécessité pour les ports de s'adapter : augmentation des tirants d'eau à quai et dans les chenaux d'accès.

Dans le **Tableau 3.4**, sont représentés les tirants d'eau ou profondeurs des terminaux à conteneurs en Méditerranée.

Port et terminal	<i>Tirant d'Eau Admissible (TEA)</i>	Profondeur
Barcelone	16 m maximum	-
Valence	16 m	-
Gènes	15 m (Voltri)	14 m (Sech)
Malte Marsaxlokk	-	15 à 15,4 m
Gioia Tauro	-	12,5 à 15 m
Naples	-	14 m
Cagliari	14 m	-
La Spezia	-	12 à 14,5 m
Chypre Limassol	-	11 à 14 m
Fos- sur- Mer	13 m	14 m

Tableau 3.4 : caractéristiques des différents terminaux à conteneurs en Méditerranée

Nota : Le tirant d'eau admissible (TEA) est la hauteur d'eau nécessaire pour qu'un navire évolue dans des conditions de sécurité totale compte tenu de sa vitesse et de son chargement. Il est calculé à partir de la profondeur d'eau diminuée d'une marge de sécurité (pied de pilote) et des amplitudes liées aux mouvements de houle ou au squat (phénomène d'enfoncement du navire en accélération).

Globalement les ports d'Europe du sud ont réalisé d'importants efforts de modernisation ce qui, conjugué avec la stratégie des armateurs, a permis à ces ports de bénéficier largement de la croissance de la conteneurisation dans les échanges maritimes. Ainsi de 1985 à 1999, la part de marché des ports d'Europe du nord diminue au profit des ports situés sur la Méditerranée. En 1990, la part des ports du nord dans le trafic total Europe était de 60% et elle n'était plus que de 54% à la fin des années 1990.

L'objectif des travaux de dragage en darse 2 est d'augmenter la capacité de réception des navires afin de permettre à terme l'accueil des grands navires supérieurs à 5 000 EVP de type Overpanamax (tirant d'eau admissible compris entre 14,5 et 16 m). Les caractéristiques d'un navire de type Panamax sont 4 000 EVP de capacité, longueur de 294 m, largeur de 33 m et tirant d'eau de 12 m.

3.3 – NATURE ET CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX PROJETES

L'évolution de la taille des navires, concomitante à l'évolution des trafics, conduit à la nécessité de disposer au terminal à conteneurs de Fos d'un tirant

d'eau admissible supérieur au tirant d'eau admissible actuel. Cette augmentation des tirants d'eau admissibles actuels, objectif de la constitution de ce dossier, s'inscrit dans le projet plus vaste d'amélioration des capacités d'accueil du terminal à conteneurs de Fos. Ce projet global inclut la création d'un nouveau terminal à conteneurs au Nord du terminal existant, le projet Fos 2XL. Fos 2XL sera situé sur le même môle que le terminal actuel, au Nord.

Le Port Autonome de Marseille envisage d'effectuer des travaux de dragage dans la darse 2 et son chenal d'accès.

Les opérations de dragage prévues s'inscrivent dans un projet global qui comprend en darse 2 :

l'adaptation du terminal actuel de conteneurs pour l'accueil de porte-conteneurs de 14,5 m de tirant d'eau, correspondant au tirant d'eau des plus grands navires existants ou en construction,

l'aménagement de nouvelles infrastructures intitulées Fos 2XL dans le prolongement Nord de la darse pour l'accueil de porte-conteneurs de 16 m de tirant d'eau.

L'opération projetée comprend d'une part le creusement mécanique des parties Sud et Médiane de la darse 2 ainsi que son chenal d'accès depuis les postes pétroliers de Fos et d'autre part l'évacuation de ces matériaux vers des zones de rejets adaptées. Plusieurs zones de réception sont envisagées pour recevoir ces produits de dragage : l'immersion en mer et la mise en dépôt à terre.

La durée des travaux est estimée à **20 - 22 mois** au total, répartis en trois phases :

- 1^{ère} phase** l'approfondissement du chenal à 18 m et du bassin au droit du terminal à conteneurs actuel à 17 m.
- 2^{ème} phase** l'approfondissement du bassin situé au droit de la zone prévue pour le futur terminal (Fos 2XL) à 17 m.
- 3^{ème} phase** l'approfondissement de l'ensemble situé au droit du terminal à conteneurs existant et du futur terminal Fos 2XL à 18,5 m et du chenal à 19,5 m.

Le coût prévisionnel de l'opération dans son ensemble s'élève à près de 90,79 M€ (pour mémoire 595,63 MF), il peut se décomposer suivant les trois grandes phases de travaux :

1^{ère} phase	18,15 M€ (119,07 MF).
2^{ème} phase	28,25 M€ (185,32 MF).

3^{ème} phase 44,39 M€ (291,24 MF).

Les travaux pourraient débuter au 4^{ème} trimestre **2002**. La programmation des phases serait la suivante :

1^{ère} phase 2002 - 2003.

2^{ème} phase 2006.

3^{ème} phase 2006 - 2007.

3.4 – VOLUME DES TRAVAUX

Dans le cadre de l'aménagement du Terminal à conteneurs existant, il est prévu, dans un premier temps, l'approfondissement au droit du quai existant à 15,0 m (14,0 m actuellement), de la darse 2 partie Sud à 17,0 m et du chenal d'accès à 18,0 m, tous les deux entre 14,0 et 15,0 m actuellement. L'approfondissement des fonds entraîne de ce fait l'extraction de volumes importants de matériaux.

Dans le but d'accueillir des navires d'une taille importante sur la zone nouvelle de Fos 2XL, jusqu'à 400 m de long et 16,0 m de tirant d'eau, il est prévu dans un deuxième temps l'approfondissement de la darse 2 parties Sud et Médiane à 18,5 m et du chenal d'accès à 19,5 m (**cf. Figure 3.1**).

Pour cela, 17 850 000 m³ de matériaux seront extraits sur une superficie de 2 142 813 m², dont 16 750 000 m³ de sables et de vases, et environ 1 100 000 m³ de cailloutis de Crau.

Pour chaque site de la zone à draguer, le volume *in situ* est décomposé comme suit³ :

	Sable et vase (m ³)	Cailloutis (m ³)	TOTAL (m ³)
Chenal d'accès	4 420 000	0	4 420 000
Darse 2 partie Sud	5 875 000	0	5 875 000
Darse 2 partie Médiane	6 455 000	1 100 000	7 555 000
TOTAL	16 750 000	1 100 000	17 850 000

Les superficies, les cotes maximales actuelles et futures, et les épaisseurs draguées correspondant à ces cotes sont rapportées ci-après :

	Surface (m ²)	Cote actuelle (m)	Cote future (m)*			Epaisseur draguée cumulée (m)*		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Chenal d'accès	633 614	14,0	18, 0	18, 0	19, 5	4,0	4,0	5,5
Darse 2 partie Sud	857 970	14,0	17, 0	17, 0	18, 5	3,0	3,0	4,5
Darse 2 partie Médiane	651 230	12,0	12, 0	17, 0	18, 5	0	5,0	6,5
TOTAL	2 142 814							

*P : Phases

Les sédiments dragués seront :

pour les matériaux fins, déversés dans le puits à déblais de la drague ou dans un chaland et transportés vers le site en haute mer où ils pourront être immergés (solution proposée et qui pourra être retenue à l'issue de l'enquête publique),

pour les matériaux grossiers, refoulés dans des canalisations flottantes et déposés à terre dans des casiers adaptés à leur stockage.

³ Ces chiffres correspondent à l'emprise maximale du projet, soit un *tirant d'eau admissible* de 16 m, la création d'un cercle d'évitage de 700 m de diamètre et un espace entre le quai Fos 2XL et le quai existant (TAC) de 300 m.

Figure 3.1 importance des travaux de dragage dans la Darse 2 et le chenal d'accès

3.5 – RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE DANS LESQUELLES L'OPERATION DOIT ÊTRE RANGEE

Les rubriques de la nomenclature (décret 93-743 modifié) concernées sont présentées ci-après :

Numéro	Caractéristique
3.3.0.	Travaux de création d'un port maritime ou d'un chenal d'accès ou travaux de modification des spécifications théoriques d'un chenal existant
3.3.1.	Travaux d'aménagements portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu aquatique et ayant une incidence directe sur ce milieu. 1 ^e – D'un montant supérieur ou égal à 12 MF (1,9 M Euros) (ou ayant pour effet de modifier de plus de 5% et de moins de 10% la surface des plans d'eau abrités du port)
3.4.0.	Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin ou estuarien jusqu'au front de salinité. 3 ^e - Dont la teneur des sédiments extraits est inférieure ou égale au niveau de référence N1 pour l'ensemble des éléments qui y figurent. a) Et dont le volume <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 500 000 m ³



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

**Opération de dragages – Approfondissement
du terminal à conteneurs de Fos -
Approfondissement pour l'extension des
capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)**



PIECE 4. Etude d'impact

Dossier 100438
2001

Novembre

PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT

AUTEURS DE L'ETUDE D'IMPACT

CREOCEAN

Mr **Olivier LE BRUN** chef de projet, Docteur en chimie et microbiologie des eaux, Responsable de l'agence PACA à Saint- Mandrier- sur- Mer

Melle **Sophie CANOVAS** chargé d'études, Docteur en hydrobiologie marine, spécialiste des écosystèmes benthiques

Mr **Michel COLINET** chargé d'études, géologue, géotechnicien, spécialiste en aménagement côtier et sédimentologie

Mr **Pierre PETERS** chargé d'études, ingénieur des mines, spécialiste en modélisation / simulation

Mr **Jérôme DAVIGNON** technicien supérieur, spécialiste des mesures à la mer

Mr **Christian PALUD** technicien supérieur, spécialiste des mesures à la mer

BIOTOPE

Mr Vincent RUFFRAY chargé d'études, spécialiste en avifaune et flore terrestre

S O M M A I R E

PREAMBULE.....	3
OBJET3	
CADRE REGLEMENTAIRE.....	5
COMPOSITION DU DOSSIER COMMUN.....	6
PIECE 1 : NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR.....	10
PIECE 2 : EMBLEMES SUR LESQUELS LES TRAVAUX DE DRAGAGE ET DE DÉPÔT DOIVENT ÊTRE RÉALISÉS.....	13
PIECE 3 : NATURE, CONSISTANCE, VOLUME ET OBJET DES TRAVAUX AINSI QUE LA RUBRIQUE DANS LAQUELLE L'OPÉRATION DOIT ÊTRE RANGÉE.....	17
3.1 – PRESENTATION DES OPERATIONS.....	17
3.2 - OBJECTIFS DE L'OPÉRATION.....	17
3.2.1 - Evolutions du trafic conteneurisé au Port de Marseille.....	17
3.2.2 – Perspectives du trafic conteneurisé au Port de Marseille.....	18
3.2.3 – Perspectives du trafic conteneurisé en Méditerranée.....	19
3.3 – NATURE ET CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX PROJÉTÉS.....	20
3.4 – VOLUME DES TRAVAUX.....	22
3.5 – RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE DANS LESQUELLES L'OPERATION DOIT ÊTRE RANGÉE.....	25
PIECE 4 : ETUDE D'IMPACT.....	27
4.1 – RESUME NON TECHNIQUE.....	36
4.2 – ETAT INITIAL.....	36
4.2.1 - Situation géographique.....	36
4.2.2 - Données météorologiques.....	36
4.2.2.1 - Climat.....	36
4.2.2.2 - Données générales.....	37
4.2.2.3 - Régime des vents.....	40
4.2.3 - Caractéristiques géologiques.....	41
4.2.4 - Caractéristiques hydrogéologiques.....	42
4.2.5 - Bathymétrie et topographie de la zone.....	43
4.2.6 - Caractéristiques sédimentologiques.....	44
4.2.6.1 - Généralités.....	44
4.2.6.2 - Nature des fonds.....	44
4.2.6.3 - Structures sédimentaires.....	52
4.2.7 - Conditions hydrodynamiques.....	54
4.2.7.1 - Marées.....	54
4.2.7.2 - Houles.....	55
4.2.7.3 - Courants.....	57

4.2.7.4 - Evolution des fonds.....	62
4.2.7.5 - Influence du Rhône.....	62
4.2.8 - Qualité du milieu.....	65
4.2.8.1 - Qualité de l'eau.....	66
4.2.8.2 - Qualité de la matière vivante.....	67
4.2.8.3 - Qualité des sédiments.....	69
4.2.8.4 - Bilan radiologique.....	72
4.2.9 - Flore et faune marines au large du Golfe de Fos.....	74
4.2.9.1 - Matériels et méthodes.....	74
4.2.9.2 - Résultats et interprétation.....	81
4.2.10 - Flore et faune marines en darse 2.....	97
4.2.11 - Zone du CABAN.....	99
4.2.11.1 - Limite de l'aire d'étude.....	99
4.2.11.2 - Histoire et paysage.....	99
4.2.11.3 - Méthodologie.....	100
4.2.11.4 - Prise en compte des inventaires officiels et de la réglementation.....	102
4.2.11.5 - Analyse écologique.....	110
4.2.11.6 - Bioévaluation du site.....	119
4.2.12 - Usages et activités.....	129
4.2.12.1 - Activités industrialo- portuaires.....	129
4.2.12.2 - Pêche et élevage.....	133
4.2.12.3 - Activités de loisirs.....	142
4.2.12.4 - Zones protégées.....	145
4.2.12.5 - Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).....	149
4.2.12.6 - Zones de clapage.....	150
4.2.12.7 - Présences d'épaves.....	151
4.2.13 - Trafic maritime.....	153
4.2.13.1 - Réglementation.....	153
4.2.13.2 - Dispositions concernant la sécurité.....	155
4.2.14 - Poids socio- économique des activités industrialo- portuaires de Fos-Marseille.....	157
4.3 - CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES ZONES À DRAGUER.....	158
4.3.1 - Plan d'échantillonnage.....	158
4.3.1.1 - Benne preneuse. Sédiments superficiels.....	158
4.3.1.2 - Carottier. Horizons profonds.....	159
4.3.2 - Mode de traitement des résultats.....	163
4.3.3 - Résultats d'analyse.....	163
4.3.3.1 - Interprétation.....	174
4.3.3.1 - Synthèse.....	178
4.4 - DESCRIPTION DES TRAVAUX.....	179
4.4.1 - Nature et volume des travaux.....	179
4.4.2 - Période(s) et calendrier des opérations de dragage.....	181
4.4.3 - Techniques de dragage.....	182
4.4.4 - Devenir des matériaux dragués. Techniques employées.....	186
4.4.4.1 - Acheminement des matériaux.....	186
4.4.4.2 - Immersion et dépôt des matériaux.....	186
4.4.5 - Justification du choix des techniques retenues.....	187
4.4.5.1 - Mode de dragage.....	187
4.4.5.2 - Mode de transport.....	187
4.4.5.3 - Mode de clapage.....	188
4.5 - CHOIX DU DEVENIR DES MATERIAUX FINIS DRAGUES. ANALYSE MULTICRITERES. JUSTIFICATIONS.....	189
4.5.1 - Généralités.....	189
4.5.2 - Méthodologie.....	189
4.5.3 - Résultats.....	192

4.5.3.1 - 1ère AMC. Devenir des matériaux fins : dépôt et / ou immersion.....	192
4.5.3.2 - 2ème AMC. Choix du site d'immersion.....	199
4.6 - INCIDENCES DES OPERATIONS.....	211
4.6.1 - Opérations de dragage.....	211
4.6.1.1 - Nature des matériaux à draguer.....	211
4.6.1.2 - Engins et techniques utilisés.....	211
4.6.1.3 - Effets du chantier.....	212
4.6.2 - Opérations de transport des matériaux.....	219
4.6.2.1 - Effets sur le trafic maritime.....	219
4.6.3 - Dépôt sur le terre-plein et immersion des matériaux.....	219
4.6.3.1 - Engins et techniques utilisés.....	219
4.6.3.2 - Effets de la mise en dépôt à terre.....	220
4.6.3.3 - Immersion : principe et mode opératoire.....	220
4.6.3.4 - Effets sur la bathymétrie.....	225
4.6.3.5 - Synthèse des effets sur l'hydrodynamique et la nature des fonds.....	238
4.6.3.6 - Effets sur la qualité de l'eau.....	239
4.6.3.7 - Effets sur les peuplements benthiques.....	246
4.6.3.8 - Effets sur les peuplements halieutiques.....	248
4.6.3.9 - Epaves.....	249
4.6.3.10 - Effets sur les usages et les activités maritimes.....	250
4.6.4 - Incidences des opérations projetées sur la santé humaine.....	254
4.6.5 - Incidences socio-économiques.....	254
4.7 - ANALYSE DES METHODES UTILISEES POUR EVALUER LES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT.....	256
4.7.1 - Analyse des méthodes utilisées.....	256
4.7.1.1 - Documents consultés.....	256
4.7.1.2 - Analyse physico-chimique des sédiments à draguer.....	256
4.7.1.3 - Analyse biologique des sédiments au large du Golfe de Fos.....	256
4.7.1.4 - Inventaires floristique et faunistique sur l'étang du Caban.....	256
4.7.1.5 - Etude hydrogéologique.....	257
4.7.2 - Difficultés techniques rencontrées.....	258
4.7.2.1 - Effets du chantier de dragage.....	258
4.7.2.2 - Mesures de courants.....	258
4.7.2.3 - Le clapage.....	258
4.7.2.4 - Choix et définition des mesures pour supprimer, réduire et compenser.....	261
4.8 - MESURES ENVISAGEES POUR SUPPRIMER, REDUIRE ET SI POSSIBLE, COMPENSER LES CONSEQUENCES DOMMAGEABLES DU PROJET.....	262
4.8.1 - Mesures générales.....	262
4.8.1.1 - Cahier des charges environnement.....	262
4.8.1.2 - Mesure relative aux incidences indirectes.....	262
4.8.2 - Mesures particulières au domaine maritime.....	263
4.8.2.1 - Mesures pour limiter les effets du dragage.....	263
4.8.2.2 - Mesures pour prévenir la pollution des eaux sur le littoral.....	263
4.8.2.3 - Amélioration des connaissances.....	264
4.9 - BIBLIOGRAPHIE.....	266
4.10 - GLOSSAIRE.....	271
PIECE 5 : MOYENS DE SURVEILLANCE PREVUS ET, SI L'OPERATION PRESENTE UN DANGER, LES MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT.....	277
5.1 - MOYENS DE SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DES SITES.....	277
5.1.1 - Justification.....	277
5.1.2 - Sites de dragage.....	278
5.1.2.1 - Suivi biologique et de la qualité de l'eau.....	278
5.1.2.2 - Suivi de la qualité de l'aquifère. Hydrogéologie.....	278

5.1.3 - Sites de clapage.....	278
5.1.3.1 - Suivis biologique et physico- chimique.....	278
5.1.3.2 - Suivi bathymétrique.....	280
5.2 - MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT.....	281
PIECE 6 : ELEMENTS GRAPHIQUES, PLANS ET CARTES UTILES A LA COMPREHENSION DES PIECES DU DOSSIER, NOTAMMENT LES PIECES 3 ET 4.....	284

FIGURES

- Figure 4.1** Carte de situation générale du cadre de l'étude
- Figure 4.2** Carte sédimentologique du Golfe de Fos et de ses abords : pourcentage de fraction fine (inférieure à 63 µm) sur le sédiment de surface (GRENZ, *communication personnelle*)
- Figure 4.3a** Carte de situation des points d'échantillonnage de sédiments superficiels dans les zones à draguer : darse 2 partie Médiane, darse 2 partie Sud et chenal d'accès à la darse 2
- Figure 4.3b** Localisation des stations de surveillance des réseaux RNO, REMI, REPHY et REPOM du Golfe de Fos
- Figure 4.4** Localisation des stations de prélèvement de sédiments (benthos) au large du Golfe de Fos et du point de mesure des courants
- Figures 4.5abcd** Structure générale du peuplement benthique
- Figure 4.6** Pourcentage d'espèces typiques des Vases *Terrigènes* Côtières
- Figure 4.7** Indice trophique
- Figures 4.8ab** Pourcentage d'espèces bioindicatrices
- Figures 4.9** Densité des embranchements
- Figure 4.10** Etang du Caban. Contexte institutionnel et réglementaire
- Figure 4.11** Etang du Caban. Localisation des sites NATURA 2000
- Figure 4.12** Etang du caban. Principales formations végétales et des espèces floristiques remarquables
- Figure 4.13** Etang du Caban. Faune remarquable
- Figure 4.14** Etang du Caban. Carte de sensibilité écologique du site
- Figure 4.15** Carte de localisation des ZNIEFF marines et de la zone marine protégée du Cap Couronne sur le parc marin de la Côte Bleue
- Figure 4.16** Carte de localisation des zones de dépôt de dragages
- Figure 4.17** Importance des travaux de dragage dans la darse 2 et le chenal d'accès

- Figure 4.18** Localisation des différents sites de clapage (cf. 6 scénarios de la 2^{ème} analyse multicritères)
- Figure 4.19** Carte de localisation des trafics maritimes
- Figure 4.20** Carte de localisation des sites de clapage par rapport aux ZNIEFF marines et à la zone marine protégée du Cap Couronne

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

- Planche photographique 4.1** Aspect des sédiments superficiels échantillonnés au large du Golfe de Fos
- Planche photographique 4.2** Aspect des sédiments superficiels échantillonnés au large du Golfe de Fos
- Planche photographique 4.3** Profileur de courants
- Planche photographique 4.4** Navire et matériel d'échantillonnage des sédiments superficiels
- Planche photographique 4.5** Chambre froide de stockage et carottes de sédiments

ANNEXES

Les Annexes, listées ci-dessous et dans le texte de l'Etude d'Impact, sont rapportées dans le Document « Etude d'Impact (Pièce 4). Annexes »

- Annexe 4.1** Rapports de mission CREOCEAN. Echantillonnage des sédiments dans la darse 2, le chenal d'accès
- Annexe 4.2** Rapport de mission CREOCEAN. Mise en place et levé du profileur et échantillonnage de sédiments au large du le Golfe de Fos
- Annexe 4.3** Etude de courantologie. Dossier CREOCEAN n°100122
- Annexe 4.4** Fiche d'analyses des organoétains dans les sédiments par le Laboratoire de Chimie Analytique Biologique & Environnement et par les Laboratoires départementaux des Pyrénées Atlantiques
- Annexe 4.5** Fiche d'analyse des métaux et autres composés dans les sédiments par le laboratoire Eau et Environnement de l'Institut Pasteur de Lille
- Annexe 4.6** Analyse granulométrique des sédiments. Laboratoire CREOCEAN
- Annexe 4.7** Analyse du benthos (station au large du Golfe de Fos). CREOCEAN
- Annexe 4.8** Tableau récapitulatif des espèces observées sur l'aire d'étude par BIOTOPE et la Tour du Valat

GLOSSAIRE

Les mots en *italique* et soulignés dans le texte sont renseignés dans le Glossaire.

4.1 – RESUME NON TECHNIQUE

Le Résumé Non Technique de l'étude d'impact fait l'objet d'un document séparé.

4.2 – ETAT INITIAL

4.2.1 - Situation géographique

La zone maritime considérée comme site d'étude est située entre les parallèles 4° 45' et 5°02' Est et les méridiens 43°10' et 43°27' Nord, soit une superficie de 710 km² comprenant le Golfe de Fos et le bassin s'étendant au Sud du golfe, c'est-à-dire le plateau sous marin du Delta du Rhône jusqu'à l'isobathe 100 m (cf. **Figure 4.1**).

Le Golfe de Fos et ses abords s'étendent depuis l'embouchure du Rhône (Grand Rhône) jusqu'au Cap Couronne avec une largeur maximale de 15 km. D'une vaste superficie, ce golfe occupe à 12 milles nautiques de Marseille, une position privilégiée au débouché du sillon rhodanien que la batellerie au gabarit international (chalands automoteurs de 1 350 Tonnes et convois poussés de 3 000 Tonnes) remonte jusqu'à Chalon-sur-Saône en Saône-et-Loire.

Le port de Fos-Sur-Mer peut recevoir les plus grands navires de toutes catégories. Il est encadré par les ports plus anciens de Port-Saint-Louis-du-Rhône à l'Ouest, et de Port-de-Bouc et Lavéra à l'Est, au débouché du Canal de Caronte qui relie le golfe à l'Etang de Berre.

La darse 2 contenant le terminal à conteneurs est située au sein des bassins Ouest du port de Marseille. Elle présente une entrée large de 600 m environ à la position 43°24' Nord de latitude et 04°51,5' Est de longitude. Sa largeur est également de 600 m et sa longueur de 4 000 m. Elle est orientée au 130/310°.

4.2.2 - Données météorologiques

4.2.2.1 - Climat

Le climat de la zone littorale est apparenté au climat méditerranéen où des étés chauds et secs succèdent à des hivers doux, humides et venteux.

Outre le Mistral qui vient de régions éloignées, la région P.A.C.A. connaît une alternance de vents locaux ; chauds et humides venus de la mer et vents froids et secs soufflant de la terre. L'orographie de cette région conduit à la domination de deux types de vent :

- les vents de secteur Nord/Nord- Ouest,

- et les vents de secteur Est/Sud- Est.

Ce climat influence fortement la circulation superficielle des masses d'eau et il induit notamment les cycloses (mélanges verticaux) de l'hiver.

4.2.2.2 - Données générales

Les conditions météorologiques⁴ sont données dans le **Tableau 4.1** pour les stations Météo France de Marignane sur l'Etang de Berre et de Pomègues (sémaphore sur l'île Pomègues [la plus au large des îles du Frioul devant Marseille]).

Ces valeurs représentent les moyennes mensuelles et annuelles de températures, pressions et précipitations. L'influence marine est nette pour la station de Pomègues (plus faibles précipitations et resserrement des températures) par rapport à la station de Marignane.

	PRÉCIPITATIONS Hauteurs moyennes (mm) (nombre de jours)		INSOLATIONS Durées moyennes (h)	TEMPERATURES Sous-abri (en °C)	
	Marignane (1951 à 70)	Pomègues (1951 à 80)	Marignane (1951 à 70)	Marignane (1931 à 60)	Pomègues (1951 à 80)
Janvier	36 (8)	24,6 (4)	147	5,5	8,4
Février	49 (6)	23,7 (4)	160	6,6	8,7
Mars	40 (7)	18,2 (4)	215	10	10,6
Avril	35 (6)	20,4 (4)	256	13	12,8
Mai	38 (7)	22,9 (3)	305	16,8	16,1
Juin	33(4)	16,0 (2)	330	20,8	19,5
Juillet	13 (2)	4,7 (1)	377	23,3	21,8
Août	27 (4)	14,9 (2)	331	22,8	21,8
Septembre	65 (6)	34,2 (3)	260	19,9	19,8
Octobre	67(8)	46,6 (4)	205	15	16,3
Novembre	69 (8)	25,9 (4)	145	10,2	12,0
Décembre	61 (10)	26,8 (5)	135	6,9	9,6
ANNEE	533 (76)	278,9 (40)	2866	14,2	14,8

⁴ Source : Mémorial de la Météorologie Nationale et Instructions Nautiques (1997).

Tableau 4.1 : précipitations, insolation et températures à Marignane et à Pomègues

Figure 4.1 : carte de situation générale du cadre de l'étude

Le climat pour la période automne/hiver est doux : la température moyenne mensuelle varie entre 5,5 et 19,9°C (les gelées sont assez rares), les précipitations varient entre 36 et 69 mm sur 6 à 10 jours par mois et l'insolation est élevée (de 135 à 260 h).

La période printemps/été est relativement chaude : les températures moyennes mensuelles fluctuent entre 10 et 23,3°C ; des périodes de sécheresse peuvent survenir en été car les précipitations sont faibles (entre 13 et 40 mm sur 2 à 7 jours par mois) et l'insolation est très importante (entre 215 et 377 h).

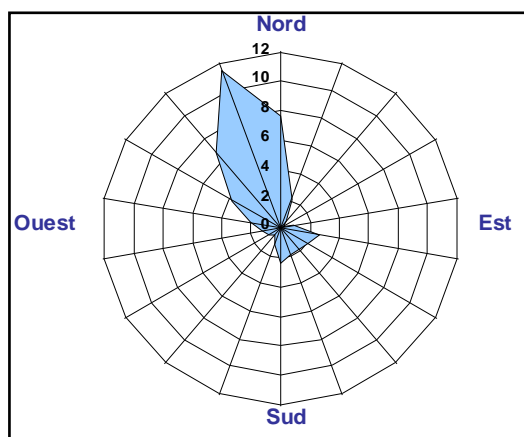
4.2.2.3 - Régime des vents

Les données à la station d'Istres (station la plus proche du site et possédant l'antériorité de mesures la plus grande) de Météo-France présentent des vents répartis essentiellement selon 2 directions privilégiées (cf. **Graphique 4.1**) : Nord/Nord-Ouest (vents dominants) et Sud-Est sur les 30 dernières années (de 1970 à 2000).

En automne et en hiver, la fréquence du Mistral s'équilibre avec celle du vent de Sud-Est, alors qu'au printemps, seul le Mistral est dominant. En été, on note l'installation de vents d'orientation Sud avec le Mistral. De plus, on remarque que les vents les plus violents sont orientés selon le secteur Nord/Nord-Ouest (MILLOT, 1990).

Les données récoltées dans la littérature mettent aussi en évidence la présence de ces deux régimes de vents dominants :

- Les vents d'Ouest à Nord-Ouest, comme le Mistral. Ces vents sont présents tout au long de l'année et représentent 50% des vents mesurés (MILLOT, 1990), avec des vitesses variant selon les saisons (vitesse moyenne en été : 10 à 15 m.s⁻¹ ; vitesse maximale en hiver : 36 m.s⁻¹). Ils sont à l'origine d'une décote du niveau marin moyen,
- Les vents d'Est à Sud-Est, comme le Levant et le Marin. Ces vents représentent 25% des vents mesurés, avec des vitesses moyennes variant entre 22 et 28 m.s⁻¹. Ils ne soufflent que de l'automne au printemps et sont moins violents que les vents de Nord-Ouest. Ces vents génèrent de grands courants côtiers qui interviennent dans le transport sédimentaire (MILLOT, 1990).



Graphique 4.1 : fréquence des observations de vents (en %) de 1970 à 2000 à ISTRES (données Météo- France)

4.2.3 - Caractéristiques géologiques

La région de Fos est essentiellement représentée à l'Ouest par le Delta du Rhône formé de sédiments quaternaires (essentiellement des cailloutis et des sables). Le Golfe de Fos a été formé par l'avancée très importante qu'ont provoqué les apports des anciens bras du Grand Rhône (cf. **Schéma 4.1**). Les périodes de *progradation* et de régression de l'Holocène (période de l'ère Quaternaire) ont façonné, quant à elles, le littoral.

Le Golfe de Fos n'existait pas au IV^{ème} siècle. Il a été amorcé par la forte avancée de la côte au phare de Faraman (à l'Est de la Pointe de Beauduc ; 43°21,4' Nord 4° 41,3' Est) au Moyen-Age. En 1711, le Grand Rhône oblique brutalement vers le Sud-Est et son embouchure débouche au Nord de Port- Saint- Louis : les sédiments déposés ferment de plus en plus le Golfe de Fos.

Enfin, en 1893, la réouverture du *Grau* de Roustan (embouchure actuelle du Grand Rhône) réoriente le débouché du fleuve vers le Sud : les sédiments déposés au Sud-Est sont alors remaniés par les conditions hydrodynamiques formant ainsi la flèche sableuse du They de la Gracieuse qui elle-même protège partiellement le Golfe de Fos (SOGREAH, 1979).

Au Nord de Fos, la zone connue sous le nom de La Crau est composée de cailloutis d'origine alpine et de poudingues, substratum présent aussi sous les vases sableuses du Golfe de Fos (IFREMER, 1985). A l'Est, les terrains carbonatés d'âge Crétacé (de -140 à -65 millions d'années) proviennent de la chaîne de la Nerthe.

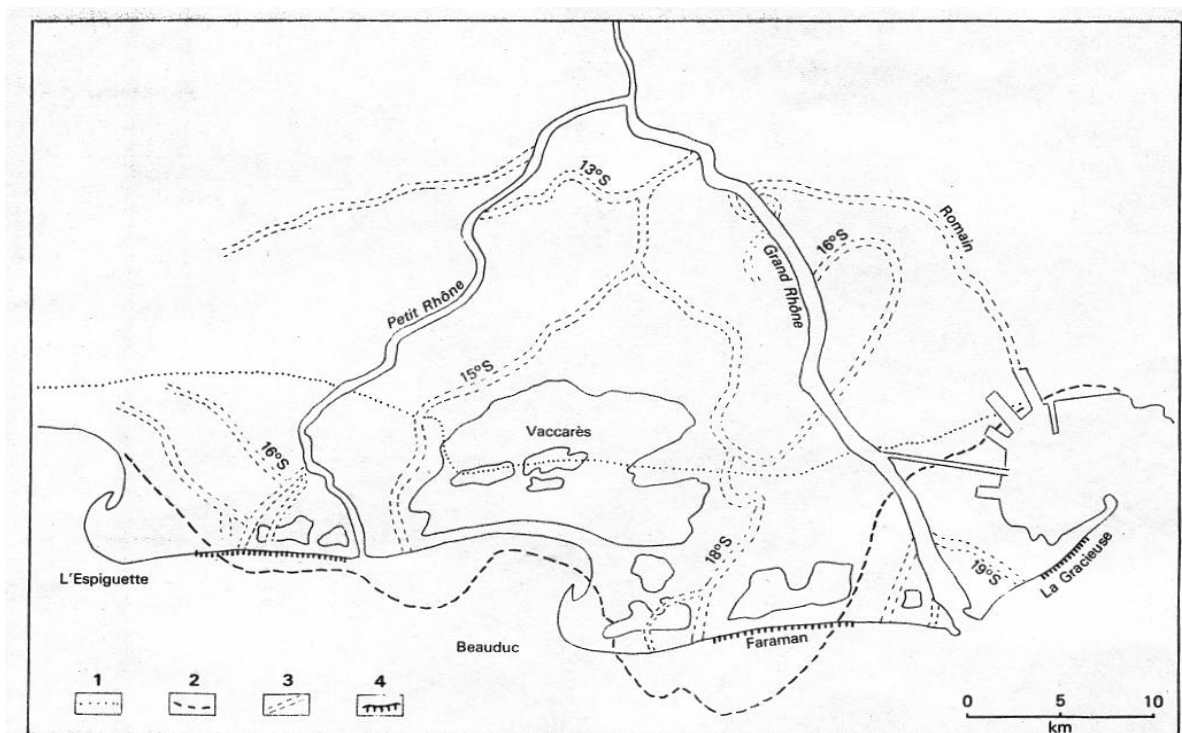


Fig. 77. — Bras abandonnés du delta du Rhône (d'après J.J. Blanc, 1977).

1 : cordon littoral d'époque romaine. 2 : tracé du rivage en 1710. 3 : bras abandonné. 4 : côte en recul.

1 : cordon littoral d'époque romaine ; 2 : tracé du rivage en 1710 ; 3 : bras abandonné ; 4 : côte en recul

Schéma 4.1 : bras abandonnés du Delta du Rhône (BLANC, 1977)

4.2.4 - Caractéristiques hydrogéologiques

Le système hydrogéologique dans la zone de Fos-sur-Mer est particulièrement complexe de par les réseaux et connexions souterraines existant entre le Rhône, les marais, les aquifères et la mer. Il résulte de cette configuration deux nappes bien différenciées : la nappe superficielle et la nappe de Crau (TOUR DU VALAT, 1999a).

La nappe superficielle se situe dans les sables et limons récents très poreux et perméables, au-delà de la zone des marais de Fos à Mas Thibert, au Sud-Ouest ; elle affleure dans les marais au Nord de Fos. Son écoulement vers la mer crée un front eau douce/eau de mer en équilibre, une halocline plus communément nommée "coin salé". Son régime de remplissage est soumis aux variations saisonnières des apports de surface (pluie, irrigation, etc.), des mises en eau artificielles des marais et rizières et du niveau de la mer. Le réseau de canaux incluant le canal d'Arles à Fos gère l'écoulement de cette nappe et le niveau du coin salé selon un système de fermeture d'écluses et de barrages mobiles.

La nappe de Crau correspond à un ancien lit de la Durance. Cet aquifère se situe au sein des cailloutis perméables de la Crau d'origine durancienne (BCEOM, 1995). Elle circule à partir du seuil de Lamanon en direction Sud-Ouest vers les marais de Raphèle et de Fos. Cet aquifère est alimenté par les irrigations réalisées du

printemps à l'automne et par les précipitations subies de l'automne au printemps (TOUR DU VALAT, 1999a). Cette nappe peut affleurer au sein de marais ou d'étangs et de sources. L'estimation de son volume est de l'ordre de 550 000 000 m³.

Cette nappe phréatique est fortement exploitée, tant pour les activités agricoles que pour les activités industrielles. Par exemple, la station de captage de La Pissarotte alimente en eau potable la commune de Port-Saint-Louis selon un débit de 3 300 m³ par jour (ANTEA, 2001). De plus, la création des darses du Port de Fos et de canaux (tels la tranchée drainante reliant La Fossette au complexe pétrolier ESSO et le canal du Rhône à Fos) ont perturbé l'écoulement des eaux vers la mer et ont modifié le tracé du coin salé.

Les études effectuées par ANTEA pour le Port Autonome de Marseille en 2000, dans le cadre de la surveillance de la nappe de Crau, présentent des résultats de mesures piézométriques. Ainsi, l'évolution du niveau de l'aquifère entre 1998 et 1999 montre une diminution, de l'ordre de 5 à 20 cm et pouvant aller jusqu'à 1,20 m. Les cotes piézométriques sont comprises entre 0,18 m NGF et 11,05 m NGF (ANTEA, 2000).

Le biseau salé⁵ quant à lui, longe la limite Nord-Ouest/Sud-Est de la plaine formée par le canal d'Arles à Fos, coïncidant ainsi avec la zone de marais et passe à l'Ouest du captage de La Pissarotte. Sa limite présente une certaine stabilité entre 1998 et 2000 (ANTEA, 2000 ; ANTEA, 2001) mais en période de sécheresse importante ou de gros prélèvements d'eau, sa proximité du point de captage (environ 300 m) peut induire une altération de la qualité de l'eau.

La darse 2 est située au dessus de l'aquifère de la nappe de Crau qui est captive du fait de son recouvrement par des limons peu perméables (ANTEA, septembre 2001).

4.2.5 - Bathymétrie et topographie de la zone⁶

Le Golfe de Fos est un milieu côtier peu profond. Sa bathymétrie, en dehors des darses, varie de 0 à 15 m. Le chenal principal d'accès au port de Fos est levé à 24 m, le chenal d'accès à la darse 2 à 14 m et le fond des darses 2 et 3 à 12 m. La pente depuis Fos-Sur-Mer jusqu'à l'isobathe 20 m est très faible : elle est en moyenne de l'ordre de 0,4% (SOGREAH, 1979). La profondeur de l'Anse de Carteau, quant à elle, n'excède pas 10 m et sa pente augmente doucement vers Fos-sur-Mer (cf. **Figure 4.1**).

En dehors du Golfe de Fos, la profondeur augmente vers le large selon un talweg sous-marin jusqu'à atteindre les isobathes 50 et 100 m à respectivement 10,5 et 21,5 km au droit de Fos-sur-Mer, à Saint-Gervais. La morphologie sous-marine générale est expliquée par la présence d'un large plateau continental à faible pente dans le Golfe du Lion et se rétrécissant vers Toulon.

⁵ On considère que le biseau salé présente une salinité supérieure ou égale à 15 g.l⁻¹

⁶ La bathymétrie du cadre de l'étude est issue des cartes du SHOM n° 6767S et P6767.

4.2.6 - Caractéristiques sédimentologiques

4.2.6.1 - Généralités

Le littoral du Golfe de Fos est constitué des sédiments provenant des apports solides du Rhône. La proximité du fleuve et le transport sédimentaire ont façonné la flèche sableuse du They de la Gracieuse, protégeant ainsi l'Anse de Carteau et une partie du Golfe de Fos des plus fortes conditions hydrodynamiques (cf. § 4.2.7).

Les variations bathymétriques du Golfe de Fos sont de ce fait tributaires des apports solides du Rhône ainsi que de la dynamique sédimentaire de la zone.

D'une manière générale, CHASSEFIERE (1990) présente une description complète des sédiments du plateau continental du Golfe du Lion. De ces résultats, il ressort la présence d'une crème de vase recouvrant le fond, de 0 à 6 cm d'épaisseur et provenant de la sédimentation de la couche *néphéloïde* benthique des apports fluviaux du Rhône. Concernant la caractérisation des particules, 95% de celles-ci ont une taille inférieure à 60 µm et 55 à 65% des sédiments sont compris entre les *silts* fins (entre 4 et 20 µm) et les *silts* moyens (entre 20 et 40 µm). La *floculation* des particules fines (argiles et *silts*) engendre des floculats dont la taille varie entre 260 et 270 µm.

D'après les travaux de CHAMLEY (1971), les particules fluviales du bassin rhodanien sont marquées par l'illite et la chlorite principalement, le quartz et la calcite pour le reste des minéraux. Dans la matière en suspension du Grand Rhône, les minéraux argileux s'opposent aux minéraux non-argileux selon le système des crues et décrues. Ainsi, au large de l'embouchure, l'illite reflète la dispersion des eaux douces rhodaniennes en mer. Le long des côtes méditerranéennes françaises, on différencie les argiles d'origine rhodanienne aux montmorillonites des eaux côtières. Enfin, au large s'effectue une sédimentation différentielle (affectant en premier le quartz, la calcite et les feldspaths, puis la chlorite et enfin l'illite) et une homogénéisation des dépôts.

SUANEZ (1997) estime que l'alimentation de la côte par les apports rhodaniens se situe dans une fourchette de 23 000 à 195 000 m³/an. Ces valeurs sont très inférieures aux chiffres proposés pour les apports solides de fond transportés par le Rhône (50 000 m³/an à 4 125 000 m³/an pour une crue cinquantennale). Il évoque aussi, l'existence d'un blocage important du matériel sédimentaire sur le *prodelta*.

4.2.6.2 - Nature des fonds

Les fonds marins formant l'ensemble du Golfe de Fos et sa continuité sur le plateau continental, sont composés, d'une manière générale, de formations meubles d'origine *détritique* : ce sont essentiellement des sédiments vaseux (cf. Figure 4.2 et Planches photographiques 4.1 et 4.2).

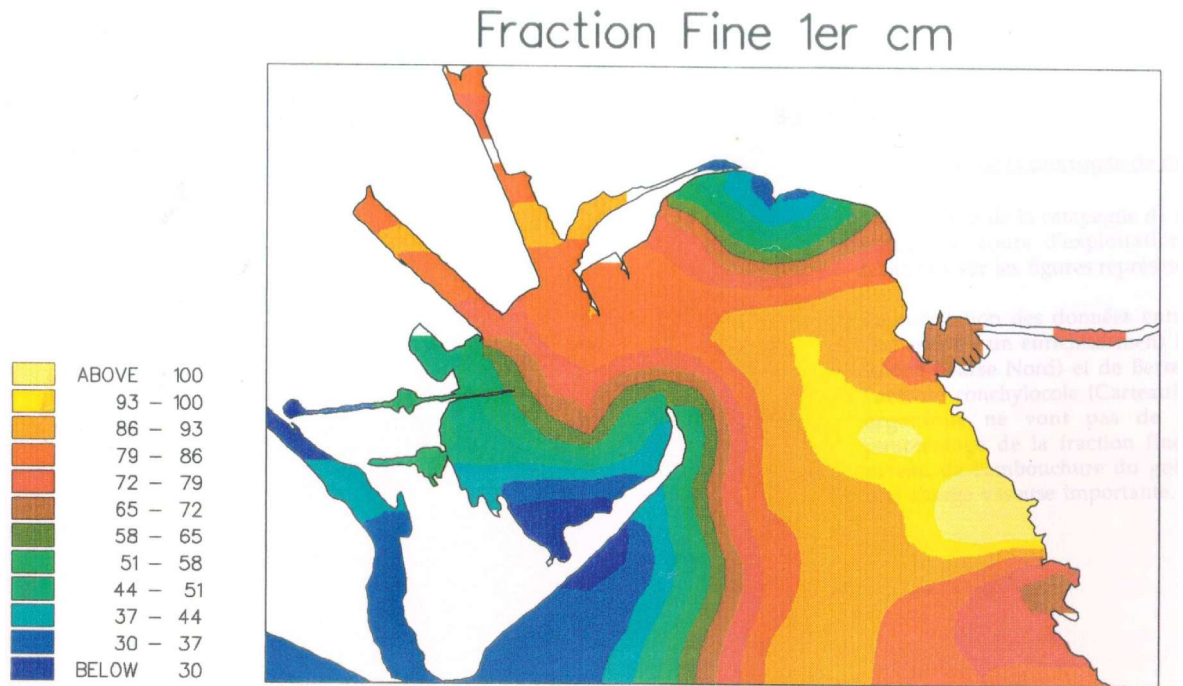


Figure 4.2 : carte sédimentologique du Golfe de Fos et de ses abords : pourcentage de fraction fine (< 63 μm) sur le sédiment de surface (source GRENZ, comm. pers.)

Planche photographique 4.1 Aspect des sédiments superficiels échantillonnés au large du Golfe de Fos

Planche photographique 4.2 Aspect des sédiments superficiels échantillonnés au large du Golfe de Fos

4.2.6.2.1 - Dans la darse 2

La darse 2 subit de manière très atténuée les fortes conditions hydrodynamiques. Les analyses granulométriques effectuées récemment (3 décembre 2000, cf. rapport de mission en **Annexe 4.1**) en darse 2 parties Médiane et Sud mettent en évidence cela par la prépondérance d'une fraction fine (cf. **Figure 4.3a** ; **Graphique 4.2** et **Tableau 4.28** du chapitre 4.3.3).

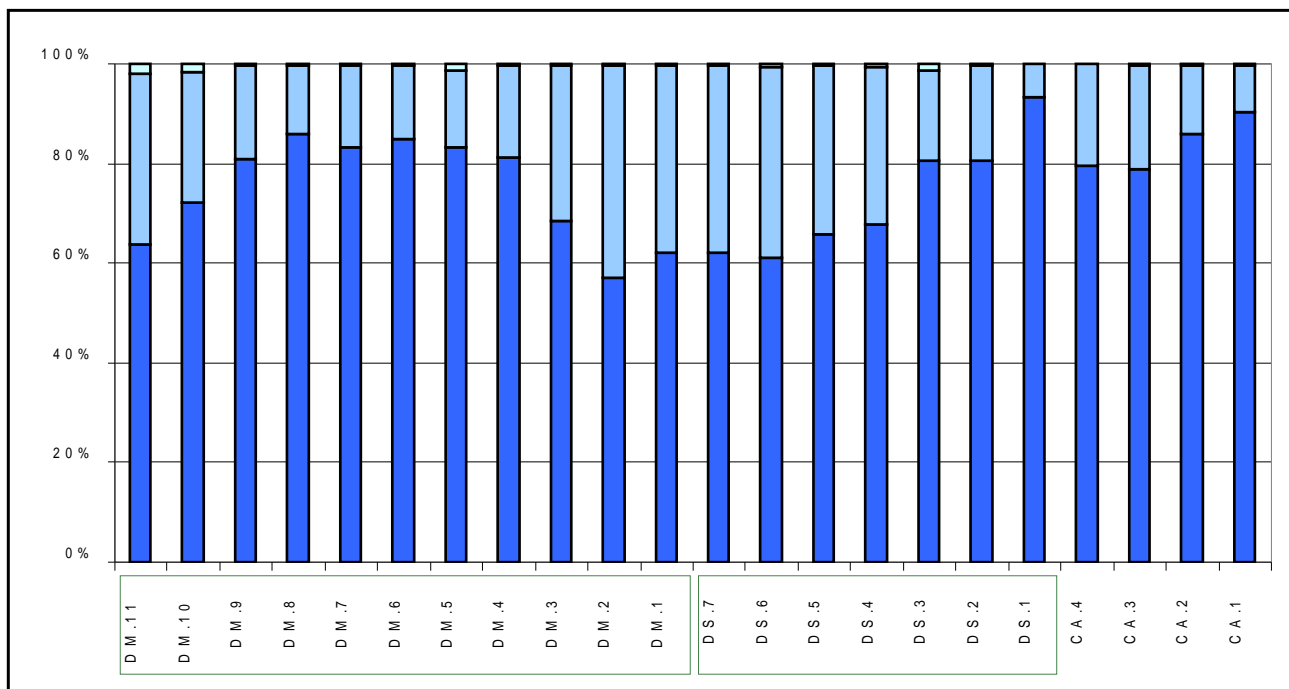
Cependant, au sein de la darse 2 Médiane, on remarque la présence de vases sableuses dans les sédiments superficiels car la proportion de sable y est conséquente : entre 34,08 et 42,44% pour les échantillons DM1, DM2 et DM11.

Certains prélèvements présentent un faible pourcentage de particules supérieures à 2 mm : DM5 (situé au débouché de la roubine), DM10 et DM11 (situés en fond de darse) avec respectivement 1,40, 1,82 et 2,18% de graviers sur le poids total.

La darse 2 Sud présente des proportions de sables assez conséquentes à l'Ouest (DS5, DS6 et DS7) variant entre 33,7 et 37,6%. A l'Est en DS1, la proportion de fraction fine est très grande : 93,3%.

Le chenal d'accès à la darse 2 comporte une fraction fine dominante variant entre 78,7 et 90,4%, la proportion de particules sableuses variant quant à elle, de 9,2 à 21,1%.

L'entrée de la darse 2 apparaît donc comme un milieu de décantation car on y trouve la plus forte proportion de fraction fine (DS1), tout comme l'entrée du chenal d'accès (CA1). Le milieu de la darse présente des sédiments plus sableux, mettant ainsi en évidence un milieu de *lévigation* ou zone de remaniement sédimentaire.



Graphique 4.2 : résultats granulométriques des carottes prélevées

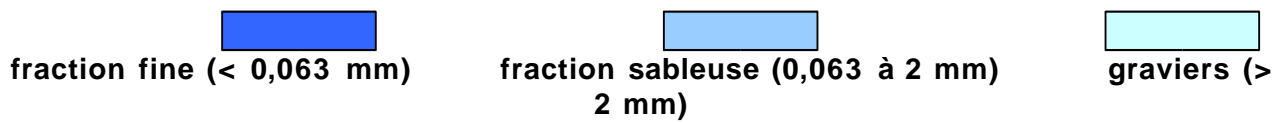


Figure 4.3a carte de situation des points d'échantillonnage de sédiments superficiels dans les zones à draguer : darse 2 partie Médiane, darse 2 partie Sud et chenal d'accès à la darse 2

4.2.6.2.2 - Delta du Rhône

Une campagne d'échantillonnage des sédiments superficiels a été menée, le 5 mars 2001, au cours de cette étude. La position des 9 stations est représentée sur la carte de la **Figure 4.4** (voir en page 67).

Les résultats granulométriques obtenus pour la majorité des stations, à l'exception de la station 50-2 (**cf. Tableau 4.2**) mettent en évidence une certaine homogénéité dans la taille des sédiments :

- une part importante de fraction fine : entre 98,67 et 99,80% (**cf. Planches photographiques 4.1 et 4.2**) ;
- une faible fraction sableuse : entre 1,33 et 0,20% ;
- la quasi-absence des graviers : très faible proportion pour les prélèvements 70-4 et 80-8, respectivement de 0,06 et 0,17%.

	50-1	50-2	60-3	70-4	70-5	80-6	80-7	80-8	90-9
Graviers	0	1,03	0	0,06	0	0	0	0,17	0
Sable	1,08	27,00	1,33	0,88	0,91	0,20	0,40	0,65	0,25
Fraction Fine	98,92	71,98	98,67	99,07	99,09	99,80	99,60	99,18	99,75
Médiane (µm)	31,84	43,76	31,92	31,80	31,79	31,56	31,63	31,76	31,58
Skewness (phi)	-0,84	-1,69	-1,54	-3,73	-3,14	-0,04	-0,61	-3,32	-0,90

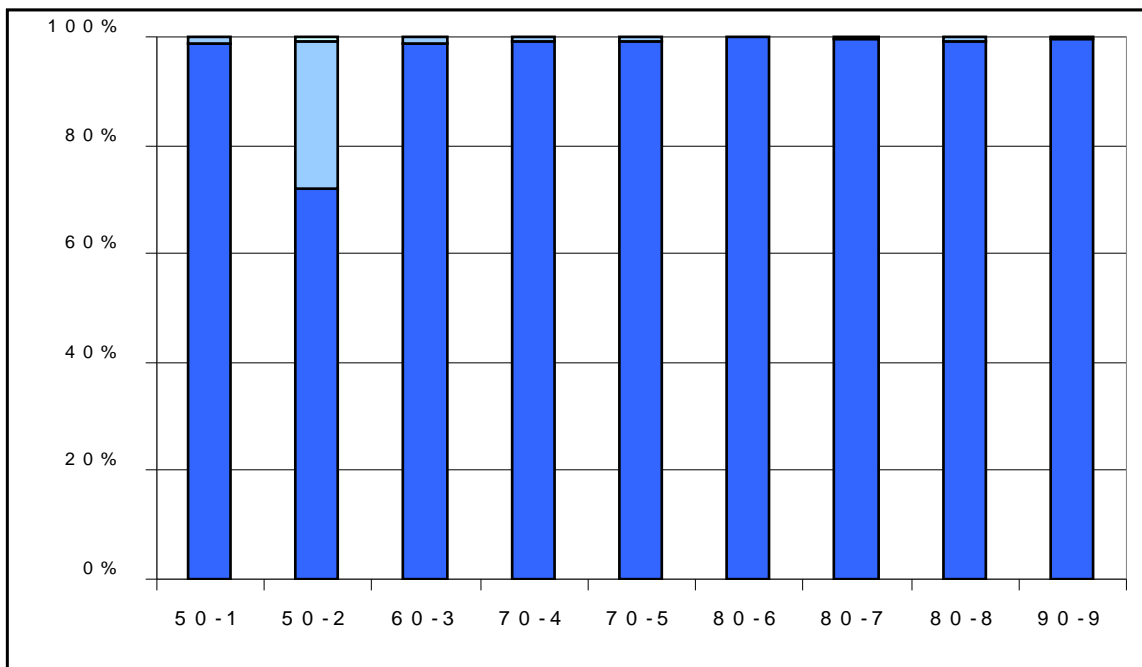
Tableau 4.2 : résultats des analyses granulométriques des échantillons 50-1 à 90-9 (fractions en pourcentage de poids total)

La taille médiane des particules définit les sédiments comme étant des *silts* (entre 4 et 63 µm), plus exactement des *silts* grossiers (entre 20 et 63 µm).

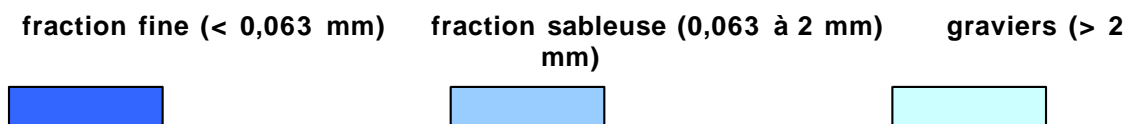
Le coefficient granulométrique d'asymétrie, ou "skewness", relatif à la répartition des particules, souligne bien la prépondérance de la fraction fine. En effet, dans le cas des unités phi (unités de tamis), une valeur négative correspond à une dissymétrie de la courbe granulométrique liée à une prépondérance des particules fines (< 63 µm).

Les résultats des analyses granulométriques (**cf. Graphique 4.3**) soulignent la présence d'un échantillon atypique (**cf. fiches d'analyses en Annexe 4.5**). On remarque en effet, à la station 50-2 (**cf. Tableau 4.2**), une plus forte proportion de matériaux grossiers (27% de sables et 1% de graviers) et ce, au détriment de la fraction fine (72%) : le sédiment superficiel présent est donc une vase sableuse.

En effet, le lieu d'échantillonnage se situe dans la vallée sous-marine, en bordure Ouest du chenal d'accès, là où les sédiments les plus grossiers ont tendance à se déposer selon un classement classique : les plus grossiers à la base et les plus fins au sommet.



Graphique 4.3 : résultats granulométriques du sédiment échantillonné



4.6.3.1 - Structures sédimentaires

De la côte au large les structures sédimentaires sont globalement réparties en trois bandes parallèles au rivage, d'une relative continuité d'ensemble : une large bande essentiellement *pélitique* (i.e composée de sédiments < 40 µm) occupant la partie médiane de la plate-forme, encadrée par des formations *détritiques* plus grossières, les sables côtiers et les sables dits du large :

- les **sables côtiers** sont des dépôts sableux à sablo-*pélitiques* et constituent les fonds de 0 à 30 m, ils sont principalement dus aux apports du fleuve. Leur épaisseur moyenne est de 10 m ;
- les **dépôts *pélitiques*** médians s'étalent entre 30 et 80 m de profondeur sur plus des 2/3 de la largeur de la plate-forme. Ces dépôts sont constitués de plus de 75% d'argile, principalement d'illite d'origine alpine et de chlorite, en ce qui concerne le Golfe du Lion ;

- les **dépôts du large** sont constitués de sables fossiles dits "sables du large". Ils affleurent de façon régulière sur toute la bordure externe de la plate-forme continentale entre 80 et 100 m de fond, sur une largeur pouvant atteindre 20 km (ALOISI *et al.*, 1979). Ces sables ont des caractéristiques granulométriques variables.

Cette couverture meuble récente peut être localement interrompue, notamment par des corps sédimentaires à dominante sableuse correspondant à des édifications littorales d'origine deltaïque jusqu'à 60 m de fond. Ces édifications sédimentaires appelées Prisme Sédimentaire Epicontinental (PSE), s'explique par le "modèle multicouche de transfert des particules" : le *néphéloïde* de fond s'étale largement sur tout le plateau continental et assure un transfert rapide et presque continu des particules à travers toute la plate-forme (ALOISI, 1986).

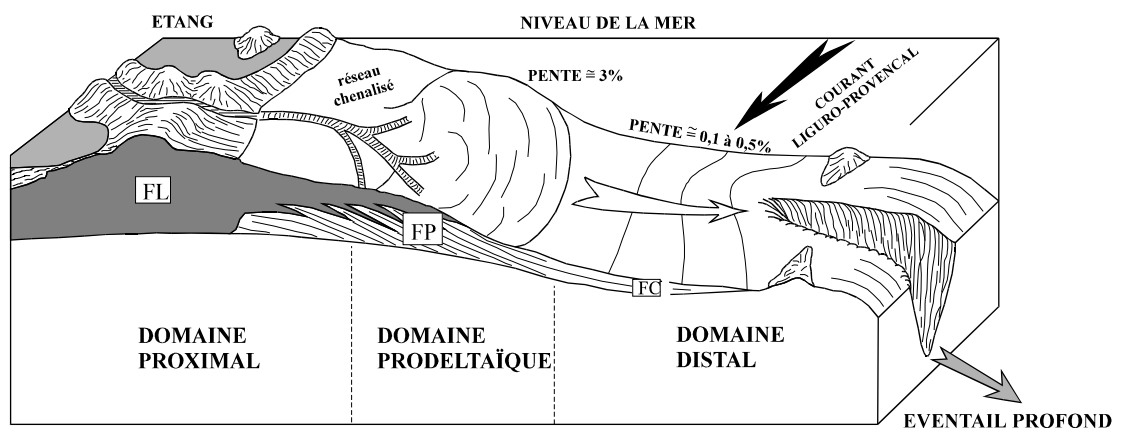


Schéma 4.2 : géométrie du prisme sédimentaire épicontinental (ALOÏSI, 1986)

FL = faciès littoral ; FP = faciès prodeltaïque ; FC = faciès circalittoral

Le Prisme Sédimentaire Epicontinental (PSE) se décompose en trois domaines bien différenciés par leurs structures sédimentaires (cf. Schéma 4.2). Ainsi, de la côte au large on distingue :

- un **domaine proximal** occupé principalement par les sables littoraux et pré-littoraux, et dominé par les apports chenalisés. C'est une zone de haute énergie, de pente moyenne très faible ;
- une **aire prodeltaïque** bien développée et d'énergie moyenne s'étendant jusqu'à 60 m de fond. Elle constitue l'essentiel du volume du PSE et a pour origine les processus de *floculation* électrochimique et d'agrégation organominérale : par perte de charge il y a création d'aire d'envasement précoce de 5 à 6 mètres d'épaisseur jusqu'en deçà de 30 m de fond. Le *prodelta* peut se composer jusqu'à 90% de pélites, on y trouve par conséquent les plus fortes concentrations en polluants. Bien circonscrit aux zones d'alimentation, son développement dépend de l'importance des apports (ALOISI, 1986). Le

prodelta est considéré comme un piège à sédiments argileux, piège temporaire puisque lors de tempêtes hivernales le matériel déposé s'en échappe par des processus combinés de diffusion et d'advection (COURP et MONACO, 1989), ou est mélangé de façon saisonnière par des processus biologiques et physiques ; c'est à la périphérie de ce domaine que l'immersion des matériaux est envisagée,

- un vaste domaine distal, peu épais et de basse énergie. La sédimentation y est homogène de type argileuse.

NOEL (1996) estime que 50% des apports particuliers du Rhône sur les 40 dernières années, sont stockés dans le domaine prodeltaïque, que 30% sont déposés sur le plateau continental, que 10% le sont sur la pente continentale et enfin que 8% sont exportés vers le domaine abyssal.

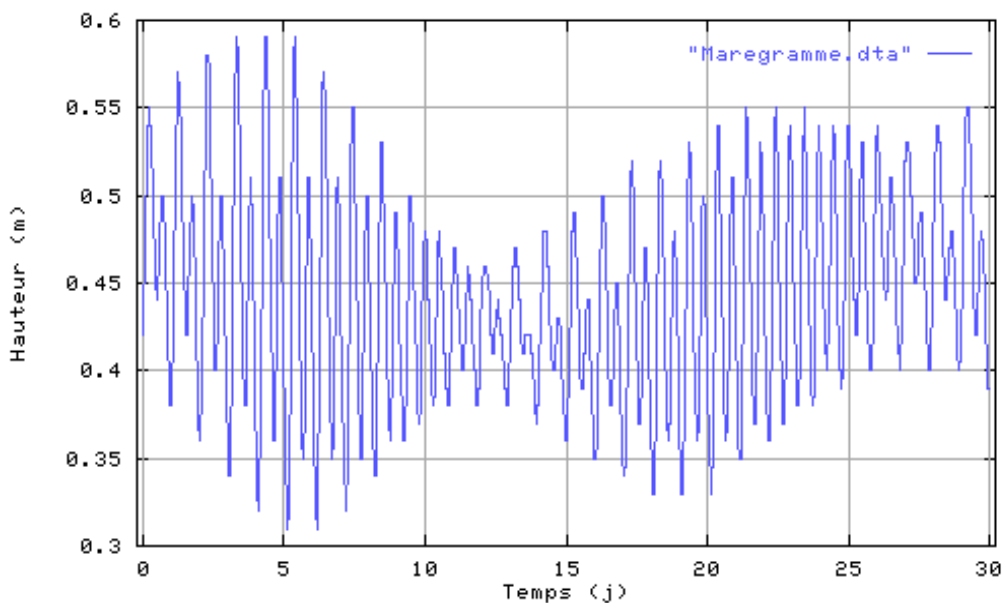
4.2.7 - Conditions hydrodynamiques

Les mouvements des matériaux sédimentaires sur l'estran et sur les fonds sont provoqués par les houles, les courants, les vents et les variations du niveau de la mer. Dans la zone considérée où la marée est très faible, le principal facteur agissant sur l'environnement marin est la houle (jusqu'à environ 30 - 35 m de fond) ; en effet, les vagues et les courants de fond peuvent générer de la remise en suspension des matériaux de fond.

4.2.7.1 - Marées

La zone d'étude présente des marées à dominance semi-diurne (deux marées par jour). Les courants de marée associés sont très faibles et de ce fait négligeables (BROCHE *et al.*, 1998). La zone est donc soumise à un régime microtidal.

Le marégramme issu des données du marégraphe de Marseille (cf. **Graphique 4.4**) présente des valeurs de marnage variant entre 30 cm pour une situation de morte-eau et 60 cm pour une situation de vive-eau.



Graphique 4.4 : marégramme effectué à Marseille⁷ du 05/03/01 au 03/04/01

4.2.7.2 - Houles

4.2.7.2.1 - Caractérisation des houles

Les travaux de la SOGREAH avec les Ponts et Chaussées Maritimes en 1977 concernant les mesures de houle mettent en évidence trois directions dominantes :

- houles de Sud-Ouest : 30% du régime total ;
- houles de Sud-Sud/Est : 16% du régime total ;
- houles de Sud-Est : 11% du régime total.

Aussi, les mesures de hauteurs exceptionnelles présentées dans le **Tableau 4.3** soulignent l'importance de la houle sur la remobilisation des particules déposées sur le fond. En effet, une forte hauteur de houle induit une forte érosion du sédiment en zone peu profonde (max. 30 à 35 m) par les frottements sur le fond des courants orbitaux générés.

	Décennale	Vingtennale	Cinquantennale	Centennale
H _s (m) ⁸	4,8	5,25	5,9	6,35

⁷ site internet du SHOM (<http://www.shom.fr>)

⁸ H_s ou H1/3 est la hauteur moyenne du tiers des plus grosses houles mesurée sur une durée donnée (annuelle, décennale, etc.)

H _{max} (m) ⁹	8,0	8,7	9,8	10,6
-----------------------------------	-----	-----	-----	------

Tableau 4.3 : hauteurs exceptionnelles de houle au Cap Couronne (SOGREAH, 1979)

4.2.7.2.2 - Houles de Sud- Ouest

Elles correspondent à des houles engendrées dans la partie occidentale du Golfe de Lion sous l'impulsion des vents de terre, Mistral et Tramontane. Ces houles se propagent vers l'Est au large du Languedoc et subissent deux réfractions majeures au niveau des Pointes de l'Espiguette et de Beauduc.

Ce sont des houles courtes dont les périodes moyennes varient de 5 à 6 secondes alors que les longueurs d'onde restent assez voisines de 50 m. Elles affectent peu le littoral occidental et septentrional du Golfe de Fos et ses abords pour des raisons de topographie sous- marine (IFREMER, 1985).

4.2.7.2.3 - Houles de Sud- Est et Sud- Sud/Est

Elles correspondent à des houles en provenance du Golfe de Gènes et sont engendrées par des vents de secteur Est et se propagent de ce fait, d'Est en Ouest.

A proximité des côtes, elles subissent plusieurs réfractions (Presqu'île de Giens, Cap Sicié, Cap Couronne).

Les périodes moyennes de ces houles sont de l'ordre de 6 secondes alors que par fortes tempêtes, elles varient de 8 à 10 secondes associées à des longueurs d'onde voisines de 100 m (IFREMER, 1985).

4.2.7.2.4 - Houles de Mistral (Nord- Ouest)

Il existe une superposition fréquente des houles de Mistral et de vent de Sud- Ouest. L'interférence des deux provoque à la fois un ensemble des vagues forcées sortant du golfe sous la poussée du vent et selon une direction Nord- Ouest / Sud- Est, et un autre ensemble de houles du large pénétrant dans le golfe selon une direction Sud- Ouest / Nord- Est (IFREMER, 1985).

⁹ Hmax est la hauteur maximale atteinte par les plus grosses houles mesurée sur une durée donnée

4.2.7.3 - Courants

La circulation générale est dominée par la présence du courant Liguro-Provençal-Catalan (LPC) et par les effets de vents violents de secteur Nord-Ouest.

4.2.7.3.1 - Courants généraux

Le courant LPC est le courant dominant dans le champ proche de la zone d'étude, régissant de ce fait la circulation générale. De 30 à 50 km de large, ce courant géostrophique (résultant uniquement de l'action de la force de Coriolis en équilibre avec le gradient de pression) longe le talus continental d'Est en Sud-Ouest (avec parfois des incursions sur le plateau continental) selon des vitesses de courant de surface de l'ordre de 50 cm/s à quelques cm/s en profondeur et un débit de $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (MILLOT, 1990).

Les vitesses près de la surface sont, de manière générale, plus importantes que les vitesses au fond mais le gradient vertical de vitesse est fonction de la stratification de la colonne d'eau. En effet, durant la période estivale où la stratification est prononcée, la *thermocline*, de 10 à 20 m d'épaisseur, procède comme un écran aux transferts d'énergie des masses d'eau supérieure vers les masses d'eau plus profondes (ALOÏSI *et al.*, 1979 ; MILLOT, 1990).

En dehors de ce régime de base, la zone d'étude présente une hydrologie complexe à relier aux conditions météorologiques contrastées existant dans cette région (**cf. Schéma 4.3**).

4.2.7.3.2 - Courants locaux

Afin de caractériser les courants présents localement au niveau de la présumée zone de dépôt des rejets de dragage, zone de l'épave dite "AVION" (43°17,695' Nord ; 04°58,023' Est), CREOCEAN a mis en place un profileur de courants lors d'une campagne en mer (**cf. Planche photographique 4.3**).

Le mouillage de l'appareil s'est effectué le 5 mars 2001 à 9 heures par 72 m de fond et son relevage le 3 avril 2001 à 11h30. Ainsi, les données de courants sur toute la colonne d'eau ont été acquises pour une période de 30 jours (**cf. rapport de mission en Annexe 4.2 et étude de courantologie en Annexe 4.3**).

En résumé, l'influence des vents se fait très nettement sentir sur ce point (confirmant les résultats publiés), le Mistral et les vents de sud-est (le Marin). L'influence de ces vents se traduit par les mêmes conséquences en terme de direction et d'intensité de courants : chaque secteur de vent induit des directions et des vitesses corrélées avec celui-ci. L'influence du vent de mistral générant cependant des courants d'une intensité supérieure aux vents marins.

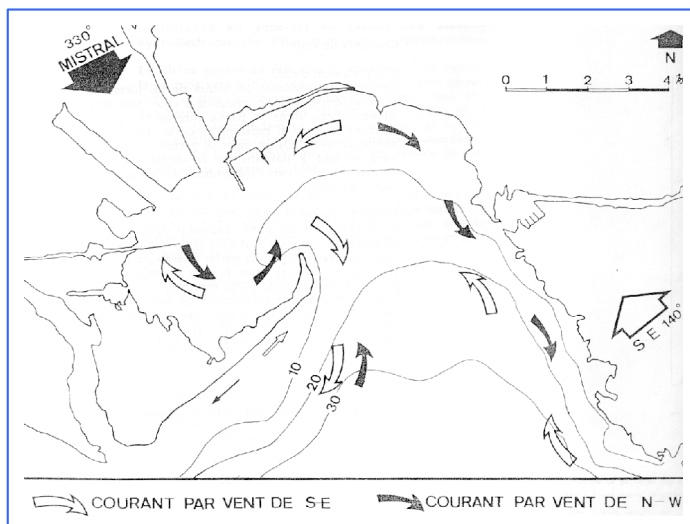
Deux couches ont été identifiées :

une couche de surface de 0 à 15 m (vitesse de courants par Mistral [30 m/s] et par vent de secteur Sud-Est [15 m/s]),

une couche de fond de 15 à 70 m (vitesse de courants par Mistral [20 m/s] et par vent de secteur Sud-Est [10 m/s]).

Le temps de réponse aux vents est extrêmement faible (l'inertie de la masse d'eau est faible).

Aux abords du Golfe de Fos, les courants sont faibles en général et varient avec le vent (ERAMM/TERSUD/COM, 1994).



Aux environs de l'embouchure du Rhône, le courant sort du fleuve avec une grande vitesse et se divise en plusieurs branches sous l'effet du vent et de la mer (voir **Schéma 4.4**).

4.2.7.3.2.1 - Courants induits par des vents de secteur Nord/Nord- Ouest

Ces vents sont les plus fréquents, ils soufflent toute l'année par séquence de quelques jours en été avec des vitesses voisines de 10 à 15 m.s⁻¹, mais avec de violentes rafales en hiver, sur des périodes pouvant atteindre plusieurs semaines (MILLOT, 1990).

Les vents de secteur Nord / Nord- Ouest créent dans le golfe, un courant plus violent qui fait affluer les eaux du fleuve vers le Cap Couronne où elles forment une nappe blanchâtre.

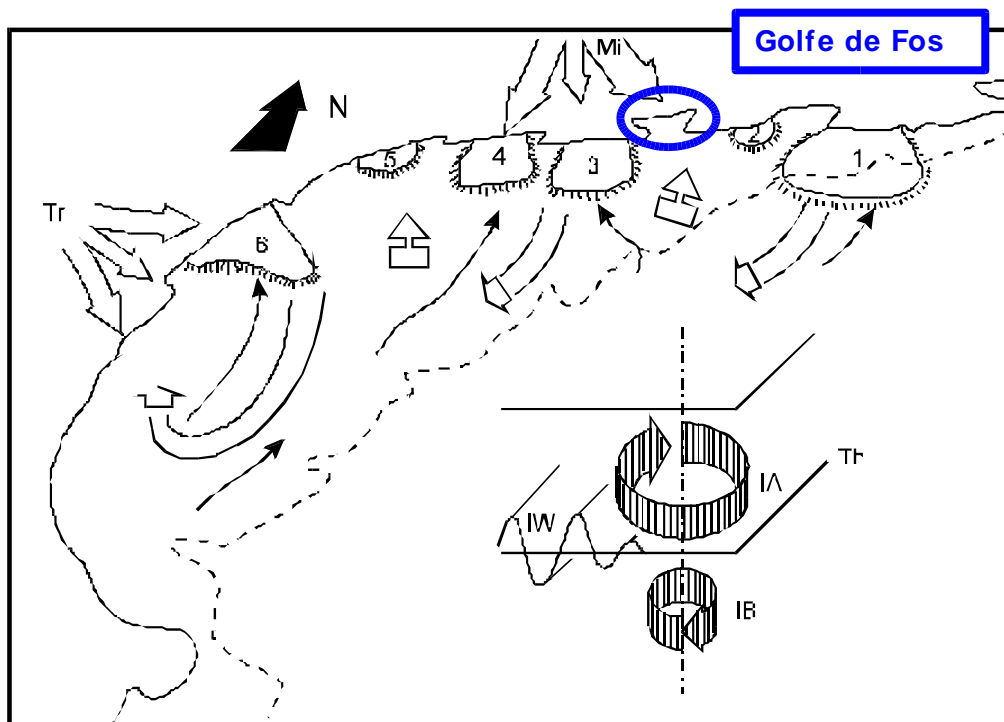


Schéma 4.3 : représentation schématique des phénomènes induits par les vents (MILLOT, 1990)

Légende : les vents (Mi = Mistral et Tr = tramontane) ; les six zones d'upwelling (1-6), la circulation des eaux de surface (connus \curvearrowright , hypothétiques \curvearrowleft) et des eaux de fond (\uparrow), et, à la période d'inertie, de l'opposition de phase entre les courants situés au-dessus (IA) et au-dessous (IB) de la thermocline (Th) et des ondes internes (IW)

Compte tenu de l'orientation des côtes et de la force de Coriolis, les vents de N-NW, comme le Mistral, induisent un déplacement des eaux de surface au large des côtes de Provence, Camargue et Languedoc vers les côtes du Roussillon (MILLOT, 1990). Un déficit apparaît sur la partie occidentale du Golfe du Lion qui est compensé par une remontée d'eau profonde froide : ce sont les upwellings.

Planche photographique 4.3 Profileur de courants et navire

La variation saisonnière de la stratification des couches de surface est une caractéristique hydrologique en Méditerranée. En effet, du printemps à l'automne une thermocline très marquée sépare la couche superficielle de température moyenne 20°C, des couches plus profondes où la température n'atteint qu'une dizaine de degrés alors qu'en hiver, cette stratification thermique disparaît. Les phénomènes d'upwelling conduisent donc en période estivale à un refroidissement très net des eaux de surface en différents points de la côte. MILLOT (1990) met en évidence 6 zones d'upwellings le long des côtes du Golfe du Lion, ainsi que divers courants de compensation (**cf. Schéma 4.3**). Le Golfe de Fos et le plateau sous-marin du Delta du Rhône se situent entre deux remontées d'eau froide : celle située sur les côtes de Camargue (centrée sur Faraman – zone n°3) à l'Ouest et celle située sur le Cap Méjean à l'Est (zone n°2) (**cf. Schéma 4.3**).

Dans le Golfe de Fos et ses abords, aucune remontée d'eau froide n'a été décrite dans la littérature.

Les upwellings générés par les vents influencent la circulation générale de la zone et modifient les "courants de frictions" sur le fond (MILLOT, 1990). En effet, les vents soufflant depuis plus de 24 heures sur une zone en dehors de l'embouchure du Rhône et à une profondeur supérieure à 25 m et dont la vitesse est supérieure à 8 m/s, ont un effet notable sur les caractéristiques et le contenu de la couche néphéloïde benthique (NAUDIN et CAUWET, 1997).

Les vents de secteur Nord/Nord-Ouest soufflant sur le Golfe de Fos en hiver induisent également la formation d'eau dense.

4.2.7.3.2.2 - Courants induits par des vents de secteur Est/Sud-Est

Ces vents soufflent violemment sur le Golfe de Fos et ses abords, de l'automne au printemps et représentent une fréquence de 25% dans la zone du Delta du Rhône (NAUDIN et CAUWET, 1997).

Chauds et humides, ils sont parfois accompagnés de pluies. Aussi, par vents de secteur Sud-Est, une partie des eaux suit le contour du golfe et l'autre partie suit la côte de Faraman en créant des courants de surface.

4.2.7.3.2.3 - Courants de houle

La houle crée des courants de dérive le long du littoral ou "jets côtiers". Certains jets sont caractéristiques de différentes orientations de la houle :

- houle de Sud-Est : dérive littorale le long du They de la Gracieuse remontant vers le fond du golfe ;
- houle de Sud-Ouest : faible courant de dérive car il est réfracté par le haut-fond que constitue le *prodelta* du Rhône.

4.2.7.3.3 - Seiches

Des seiches se produisent dans le Golfe de Fos par période d'une heure environ lorsque la pression atmosphérique baisse. Les variations de niveau, atteignant 25 cm, se combinent avec celles de la marée pour donner un marnage total de l'ordre de 50 cm (SHOM, 1997).

4.2.7.4 - Evolution des fonds

Les vagues et courants de fond peuvent générer de la remise en suspension. A l'embouchure du Rhône, en supposant un courant côtier de 20 cm/s et une vitesse de chute de 10^{-4} m/s, les petites particules (environ 30 μ m) sont advectées sur 35 km avant d'atteindre une profondeur de 20 m (CASITAS, 1999).

Les caractéristiques de dynamique sédimentaire ont pu être précisées à l'aide de modèles numériques. Les résultats obtenus à partir de simulations sont tels que pour des conditions de vent de 16 m/s (type Mistral et Tramontane), un fetch de 70 km, une hauteur de vague de 1 m et une période de 5 secondes, il n'y a pas d'érosion des fonds dans ces conditions dans le Golfe du Lion (CASITAS, 1999).

A 70 m de fond, la tension de cisaillement due aux vagues est sûrement insuffisante pour remobiliser des sédiments déjà consolidés (CASITAS, 1999).

4.2.7.5 - Influence du Rhône

Le débit moyen du Rhône ne représente qu'environ 1/1000^e du flux du courant LPC : il n'y a donc aucune influence directe des apports rhodaniens sur la dynamique des masses d'eau dans le Golfe du Lion (MILLOT, 1990). En revanche, le fleuve représente une source majeure d'apports telluriques de toutes sortes et a une action prépondérante sur le fonctionnement des écosystèmes du Golfe du Lion (BLANC et LEVEAU, 1973).

4.2.7.5.1 - Apports liquides

Le déplacement de la nappe de surface des eaux rhodaniennes dépend de plusieurs paramètres : les conditions météorologiques, la situation courantologique côtière (BROCHE *et al.*, 1998) et enfin le débit du fleuve.

DEMARQ et WALD, (1984) ont mis en évidence l'action prépondérante des vents sur la direction du panache rhodanien. L'embouchure du Grand Rhône est orientée vers le Sud-Est, cependant en l'absence de vents, le panache se dirige vers le Sud-Ouest, sous l'action du courant Liguro-Provençal-Catalan (cf. **Schéma 4.4**).

Par vent de type Mistral, la nappe de dilution est orientée vers le Sud-Est, alors que pour un vent de type Marin, la nappe est complètement plaquée contre la côte (DEMARQ et WALD, 1984). Dans cette dernière situation, les apports liquides et solides vers le Golfe de Fos sont clairement établis.

Le temps de réponse de la nappe à cette action du vent croît avec le débit du fleuve, et est de l'ordre de 5 heures. La déviation du panache se fait environ à 50° sur la droite du vent, en accord avec la théorie d'EKMAN sur les relations vent/courant de surface.

A leur arrivée en mer, les eaux du Rhône suivent un axe orienté Nord-Ouest/Sud-Est avec des vitesses pouvant atteindre 3 nœuds (BLANC et LEVEAU, 1973).

Près de l'embouchure, les eaux rhodaniennes intéressent une épaisseur de plusieurs mètres, cependant à quelques kilomètres, la nappe de dilution n'a plus qu'une faible épaisseur qui atteint quelques centimètres par temps calme (ALOÏSI et al., 1982 ; MILLOT, 1990).

Dans cette région très venteuse, la couche d'eau douce d'origine rhodanienne peut donc être très rapidement mélangée avec les couches d'eau sous-jacentes.

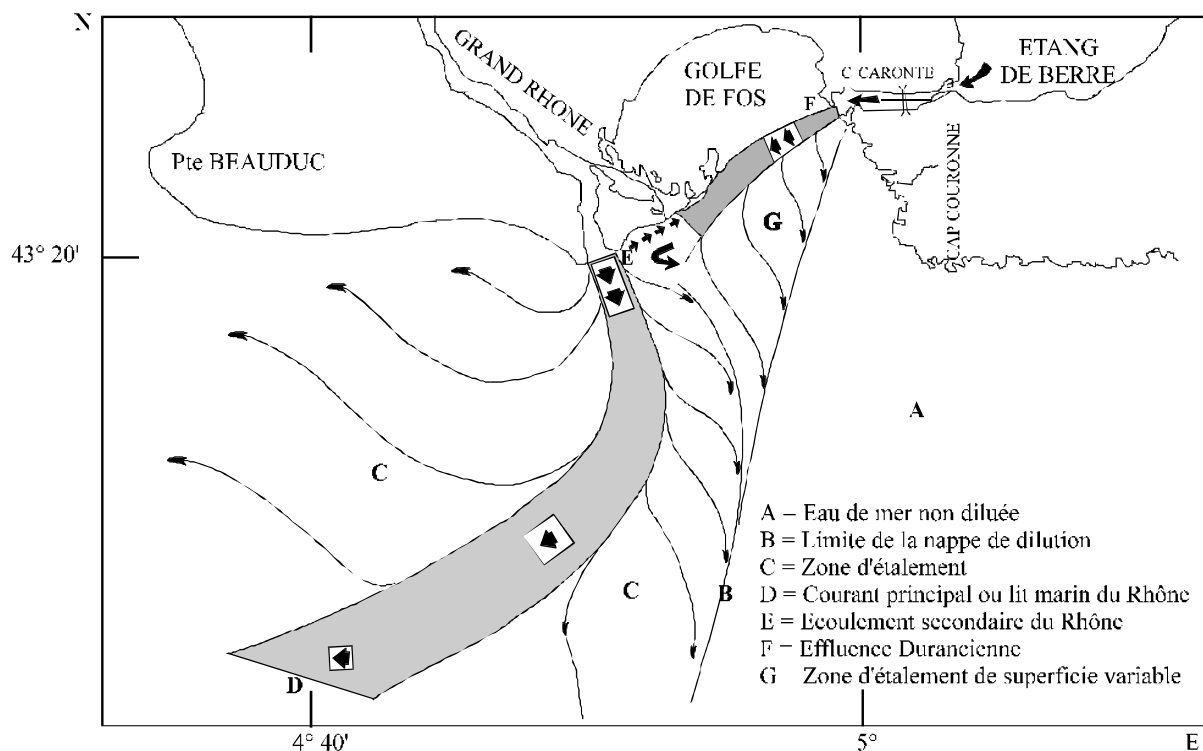


Schéma 4.4 : schéma général de l'écoulement en mer des eaux du Rhône et de la Durance (d'après BLANC et LEVEAU, 1973)

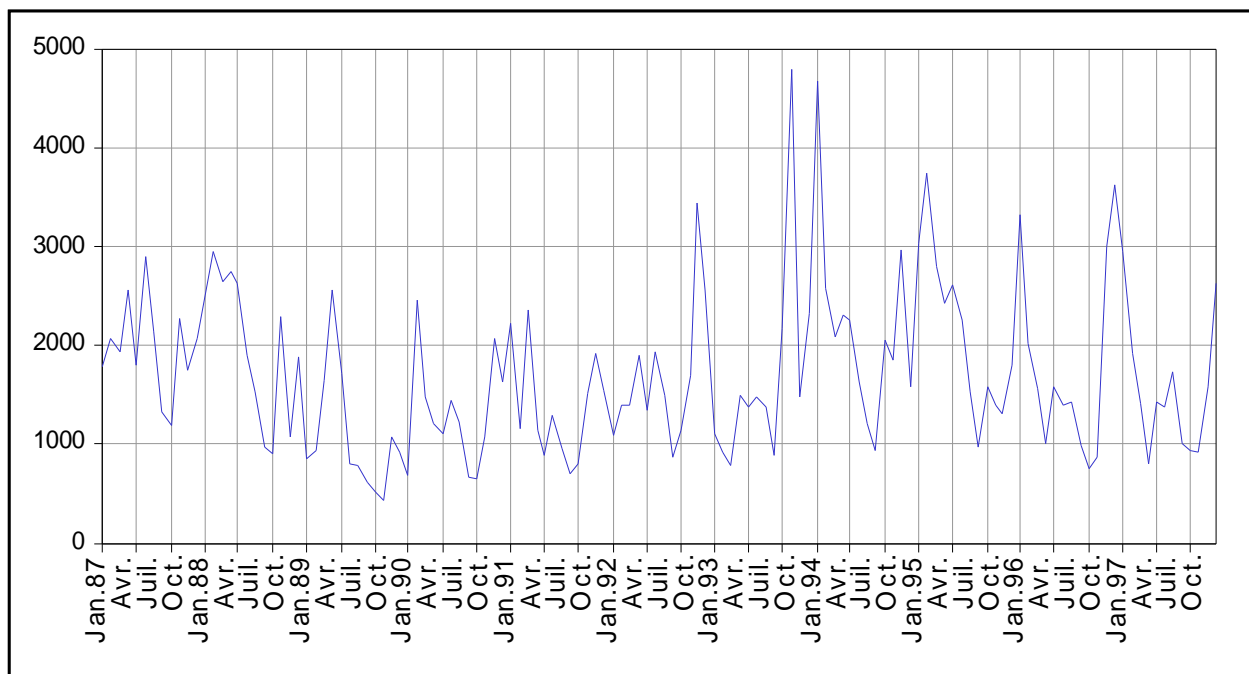
Les débits du Rhône

La diversité des régimes hydrologiques alimentant le Rhône tout au long de son cours écarte les étiages sévères et confère au Rhône des débits relativement élevés tout au cours de l'année.

A Beaucaire¹⁰, le débit moyen annuel se situe autour de 1 700 m³.s⁻¹ (cf. **Graphiques 4.5 et 4.6**) mais reste cependant marqué par des étiages estivaux relativement longs. Les débits moyens journaliers les plus faibles, de l'ordre de 300 m³.s⁻¹, ont été observés en 1976. Pendant l'hiver 93/94, des forts débits sont apparus suite à une période de crue intense, où l'on a mesuré des débits maximum journaliers de plus de 10 000 m³/s. Cette crue a fortement érodé les fonds marins du prodelta et du plateau continental, de plusieurs mètres à l'embouchure à quelques centimètres sur le plateau (RADAKOVITCH *et al.*, 1999).

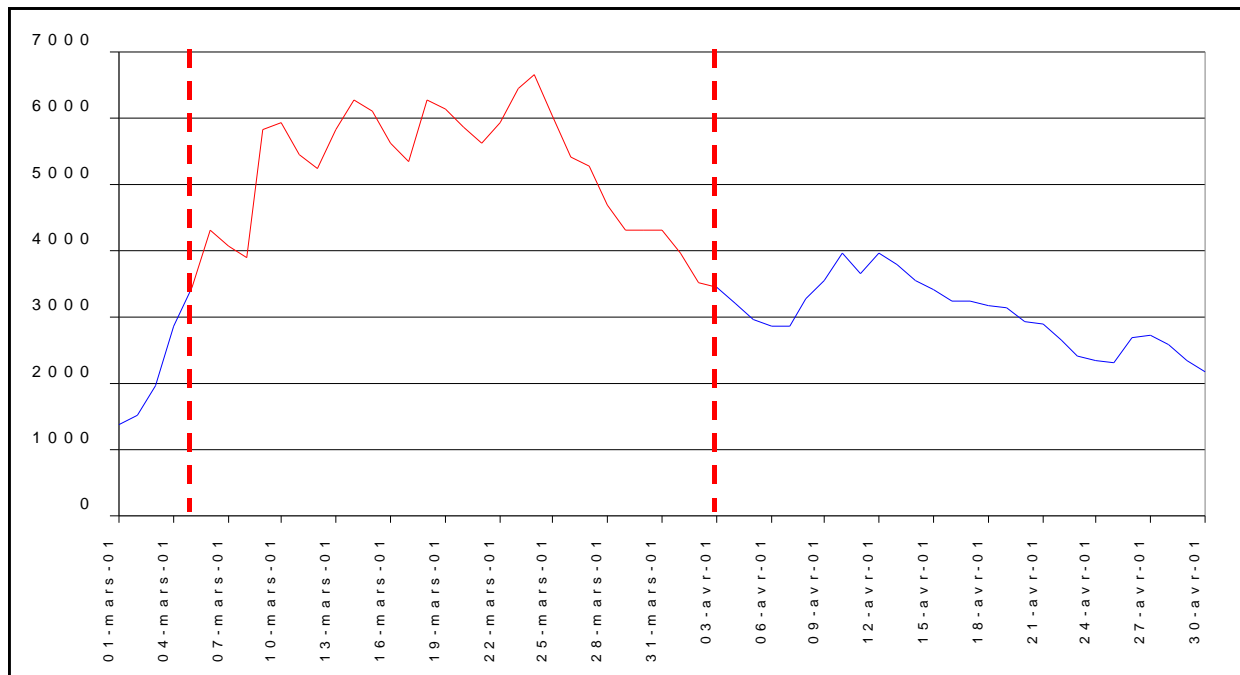
D'après la Compagnie Nationale du Rhône, en amont du coin salé à Beaucaire, la vitesse du fleuve est de l'ordre de 1,6 m/s en surface pour un débit de 2 230 m³/s, alors que pour un débit de 1 280 m³/s, la vitesse n'est plus que de 1,2 m/s. Si de telles vitesses sont conservées en aval, il apparaît qu'à l'embouchure, le maximum de débit en surface est enregistré avec un décalage de 11 à 12 heures par rapport à la station de mesure de Beaucaire (NAUDIN *et al.*, 1992).

En ce qui concerne les eaux de fonds, la présence du coin salé ralentit considérablement la vitesse de transfert des suspensions selon une estimation de 2 à 3 jours (NAUDIN *et al.*, 1992).



Graphique 4.5 : débits mensuels moyens du Rhône à Beaucaire en m³/s de janvier 1987 à décembre 1997

¹⁰ Station de référence scientifique située 64 km en amont de l'embouchure



Graphique 4.6 : débits moyens journaliers du Rhône à Beaucaire en m³/s du 5 mars au 3 avril 2001 (en rouge)

4.2.7.5.2 - Apports solides

Les apports *terrigènes* du Rhône constituent la source d'apport solide la plus importante (80%) dans le Golfe du Lion (MONACO *et al.*, 1990 ; RODITIS, 1993) et par conséquent au large du Golfe de Fos. On retrouve ainsi la signature des apports sédimentaires des particules rhodaniennes au sein du Golfe de Fos et de son plateau sous-marin par leur minéralogie et leur granulométrie typique (cf. § 4.2.6 ; CHAMLEY, 1971).

Les flux moyens de matières en suspension (surtout des *silt*s et des argiles) varient au cours du temps, en fonction des variations de débits, mais aussi en fonction de l'origine des crues. Ils varient entre $2,2 \cdot 10^6$ et $5,8 \cdot 10^6$ Tonnes.an⁻¹ (RODITIS, 1993). La dispersion en mer de ces matières en suspension est régie par les processus de sédimentation et l'influence des courants.

4.2.8 - Qualité du milieu

IFREMER réalise un suivi de la qualité de l'eau de mer, des coquillages et des sédiments dans le cadre de ses réseaux de mesure : RNO (contaminants), REMI (microorganismes) et REPHY (phytoplancton). Le cadre de l'étude se situe dans le site n°38 du bassin n°94. Il n'existe pas de points au sein de la darse 2, mais en sortie de darse (REMI et RNO). 5 stations plus particulièrement intéressantes sont

situées dans le Golfe de Fos : Antoine (REPHY), Ermite (REPHY), Carteau 14 (REMI et REPHY), Pointe St-Gervais (RNO et REMI) et au Cap Couronne (RNO) (cf. **Figure 4.3b**).

La Cellule Qualité des Eaux Littorales des Bouches-du-Rhône (CQEL-13) présente un suivi mensuel de l'eau et des sédiments dans les bassins Ouest du Port Autonome de Marseille nommé REPOM (darses et bassins) (cf. **Figure 4.3b**).

Pour tous ces réseaux de surveillance, les analyses portent essentiellement sur :

- les contaminants métalliques ;
- les PCB ;
- les hydrocarbures polycycliques aromatiques ;
- les organochlorés ;
- les organismes phytoplanctoniques ;
- les toxines et les organismes bactériologiques pour les coquillages et l'eau.

4.2.8.1 - Qualité de l'eau

• Réseau National d'Observation du milieu marin RNO

Les derniers résultats communiqués datent de décembre 1999. Cependant, leur historique remonte à janvier 1995. Les résultats pour quelques paramètres sont les suivants :

- la teneur moyenne en **MES** (Matière en Suspension) dans la colonne d'eau sur la période 1995 à 1999 :

au niveau de l'Anse de Carteau (RNOHydro Fos n°208, cf. **Figure 4.3b**) est en surface de **5,58 mg/l** (écart-type de 2,66 mg/l) soit : $2,68 \text{ mg/l} < \text{MES} < 15,80 \text{ mg/l}$, et en profondeur de **7,52 mg/l** (écart-type de 10,47 mg/l),

en milieu du Golfe de Fos (RNOHydro Fos n°209, cf. **Figure 4.3b**) est en surface de **4,97 mg/l** (écart-type de 2,78 mg/l) et en profondeur de **6,51 mg/l** (écart-type de 7,86 mg/l),

en sortie du Golfe de Fos (RNOHydro Fos n°202, cf. **Figure 4.3b**) est en surface de **8,88 mg/l** (écart-type de 5,38 mg/l) et en profondeur de **5,21 mg/l** (écart-type de 2,69 mg/l).

- la concentration moyenne en **ammonium** (ion NH_4), au point n°208 est de **3,01 $\mu\text{mol/l}$** (écart-type de 3,2 $\mu\text{mol/l}$).

- la teneur moyenne en **Chlorophylle a** dans la colonne d'eau de surface est :

au point n°208 de $2,72 \text{ mg/m}^3$ (écart-type de $2,15 \text{ mg/m}^3$),

au point n°202 de $1,77 \text{ mg/m}^3$ (écart-type de $1,98 \text{ mg/m}^3$).

• Réseau Port Autonome de Marseille

Les derniers résultats communiqués datent de juillet 2000. Cependant, leur historique remonte à janvier 1992. Les résultats pour les matières en suspension sont les suivants :

- la teneur moyenne en **MES** (Matière en Suspension) dans la colonne d'eau est :
en sortie de darse 2 (station PAM n°10, cf. **Figure 4.3b**) de **6,23 mg/l** (écart-type de 4,06 mg/l) et en profondeur de **11,22 mg/l** (écart-type de 16,20 mg/l).

• Réseau REPOM

Les derniers résultats communiqués datent de juillet 2000. Les résultats en fond de darse 2 (cf. **Figure 4.3b**) sont les suivants :

- la concentration moyenne en **MES** (période 1998-2000) est de **7,13 mg/l** (écart-type de 7,66 mg/l),
- la **transparence moyenne** (période 1998-2000) est de **3,55 mètres**, compris entre 3 et 4,5 mètres (10 valeurs),
- la **turbidité moyenne** (période 1998-2000) est de **3,2 NTU**, compris entre 2,1 et 4,3 NTU (9 valeurs).

4.2.8.2 - Qualité de la matière vivante

• Réseau National d'Observation du milieu marin : RNO

Les mesures RNO provenant du suivi de la qualité du milieu par IFREMER (1999) dans la zone du Golfe de Fos ont été réalisées aux points "St-Gervais" et "Cap Couronne" (cf. **Figure 4.3b**) dans la chair de mollusques bivalves : moules (*Mytilus galloprovincialis*), palourdes (*Ruditapes decussatus*) et tellines.

Les données obtenues concernent les polluants métalliques (cadmium, plomb, mercure, cuivre et zinc), le polychlorobiphényle congénère 153, le lindane et le fluoranthène. Les résultats sont donnés pour une période de temps variant de :

- début 1979 à fin 1997 pour les métaux ;
- début 1982 à fin 1997 pour le lindane ;
- début 1992 à fin 1997 pour le polychlorobiphényle congénère 153 ;
- 1994 à fin 1996 pour le fluoranthène.

Concernant les métaux, les concentrations mesurées en cadmium à ces deux stations sont supérieures à 0,5 mg/kg de poids sec (p.s.) et n'excèdent pas 2 mg/kg p.s. entre 1983 et 1997.

Les concentrations en mercure, quant à elles, ne dépassent pas 0,7 mg/kg p.s. sur la période 1983-1998. On ne remarque pas de tendance générale.

Les mesures de concentration en cuivre au sein de la chair des moules présentent des valeurs de l'ordre de 10 mg/kg p.s, pour la même période de temps. En revanche, on note une valeur unique de l'ordre de 40 mg/kg p.s. en 1993.

Les concentrations en zinc varient entre 100 et 300 mg/kg p.s. avec quelques dépassements au-dessus de 300 mg/kg p.s. principalement en 1984, 1987 et 1988. La tendance générale sur la période 1983- 1997 est à la diminution des concentrations dans la chair des moules.

Concernant le polychlorobiphényle congénère 153 (ou CB 153), entre 1992 et 1997, les teneurs sont légèrement inférieures à 60 µg/kg p.s, sauf en 1992 pour la station de Cap Couronne et en 1993 pour la station de St-Gervais. On remarque cependant une tendance à la diminution des concentrations.

Les teneurs en lindane au sein de la chair des moules présentent la même tendance que la concentration en CB 153 : les teneurs diminuent lentement entre 1982 et 1997. Les valeurs fluctuent d'une manière générale autour de 5 µg/kg p.s, avec un pic en 1988 au-dessus de 20 µg/kg p.s. pour St-Gervais et en dessous de 20 µg/kg p.s. pour Cap Couronne.

Enfin, les teneurs en fluoranthène se situent autour de 15 mg/kg p.s. à Cap Couronne et autour de 20 mg/kg p.s. à St-Gervais, et ce pour la période de 1995 à 1997.

- **Réseau microbiologique REMI**

Des suivis mensuels de la qualité microbiologique des coquillages sont effectués sur des Mollusques Bivalves filtreurs : moules (*Mytilus galloprovincialis*) ou palourdes (*Ruditapes decussatus*) en certaines stations du Golfe de Fos par IFREMER (1999) (cf. **Figure 4.3b**).

Les seuils fixés par l'**arrêté du 21 mai 1999** relatif au classement de salubrité et à la surveillance des zones de production et des zones de reparcage des coquillages vivants, sont : 230, 1 000, 4 600 et 46 000 *Escherichia coli* par 100 g de chair de coquillage et de liquide intervalvaire (EC/100g).

Dans l'Anse de Carteau, les moules ne présentaient entre 1989 et 1998 aucun dépassement de 46 000 EC/100g, 2 dépassements de 4 600 EC/100g, 4 dépassements de 1 000 EC/100g et de nombreux dépassements de 230 EC/100g. D'une manière générale, on remarque surtout une diminution de la concentration en *Escherichia coli* au cours de ces dernières années.

- **Réseau phytoplanctonique REPHY**

Les abondances des genres *Dinophysis* et *Alexandrium* sont données en cell/L. En 1998 à Carteau (cf. **Figure 4.3b**), aucun *Alexandrium* n'est détecté ; en été, pendant les mois de juillet et d'août, on rencontre une abondance entre 100 et 1 000 cell/L par trois fois.

Concernant la toxicité DSP¹¹ à la station Carteau d'IFREMER, aucune toxicité n'a été rencontrée en 1998 : toutes les mesures sont inférieures au seuil de détection.

4.2.8.3 - Qualité des sédiments

• Réseau REPOM

Les derniers prélèvements de sédiments en darse 2 et dans le Golfe de Fos (cf. Figure 4.3b) datent de juillet 1999. Les résultats sont les suivants :

- Pour ce qui concerne la concentration d'**aluminium** dans les sédiments, elle est de **54,9 g/kg p.s.** alors qu'elle varie entre 4,1 (port pétrolier de Lavéra) et 54,9 (darse 2) g/kg p.s.. C'est la valeur la plus élevée des points suivis.
- La concentration d'**arsenic** est de **12 mg/kg p.s.** en darse 2. Elle correspond aux valeurs rencontrées dans le Golfe de Fos : entre 10 et 12,5 mg/kg p.s.. Toutes ces mesures sont inférieures au niveau de référence N1 de l'arrêté du 14 juin 2000 qui est de 25 mg/kg p.s..
- Pour le **cadmium**, la concentration est de **0,13 mg/kg p.s.** et correspond à celle rencontrée dans le Golfe (entre 0,10 et 0,24 mg/kg p.s.), ce qui est largement inférieur au niveau N1 de référence de l'arrêté du 14 juin 2000 (1,20 mg/kg p.s.).
- Concernant le **cuivre**, la concentration est de **24 mg/kg p.s.** On notera pour cet élément une concentration très élevée en un point de mesure : Fos/Saint-Gervais, où elle atteint la valeur de 155 mg/kg p.s., ce qui est largement supérieur au niveau N1 de l'arrêté du 14 juin 2000 (45 mg/kg p.s.) et N2 (90 mg/kg p.s.). Mis à part cette valeur extrême, les autres mesures du Golfe de Fos varient entre 19 et 44 mg/kg p.s..
- La concentration de **mercure** dans les sédiments de la darse 2 est de **0,19 mg/kg p.s.** C'est la valeur la plus faible rencontrée dans les sédiments du Golfe de Fos. En effet, celles-ci varient entre 0,31 et 3,24 mg/kg p.s., ce qui pour les stations de Fos/Saint-Gervais (0,44 mg/kg p.s.) et le Port Pétrolier de Lavéra (0,66 mg/kg p.s.) est au-dessus du niveau N1 (0,40 mg/kg p.s.) et pour les stations Port de Bouc (1,89 mg/kg p.s.) et Fos/Saint-Gervais (3,24 mg/kg p.s.) est au-dessus du niveau N2 de l'arrêté du 14 juin 2000.
- La concentration de **plomb** dans les sédiments de la darse 2 est de **44 mg/kg p.s.** Les autres valeurs sont comprises entre 33 et 69 mg/kg p.s., mis à part la valeur exceptionnelle de 228 mg/kg p.s. pour la station de Port de Bouc, valeur supérieure à N1 (100 mg/kg p.s.) et N2 (200 mg/kg p.s.) de l'arrêté du 14 juin 2000.
- Seule la concentration de **zinc** dans les sédiments de la darse 2 dépasse le niveau de référence N1 (276 mg/kg p.s.) ; elle est de **353 mg/kg p.s.** Les

¹¹ La toxicité DSP est évaluée par le temps de survie moyen d'un échantillon de trois souris, est répartie en trois classes, dont les limites sont le seuil de détection (24 h de survie) et la toxicité avérée (5 h de survie).

autres valeurs de concentration de zinc dans le Golfe de Fos se situent entre 82 et 362 mg/kg p.s.. Cette dernière valeur est elle aussi supérieure au niveau N1 de l'arrêté du 14 juin 2000 et correspond à la station darse 1.

- La concentration en **chrome** de la darse 2 est de **29 mg/kg p.s.** Elle correspond à la teneur en chrome rencontrée dans les sédiments Golfe de Fos : entre 18 et 38 mg/kg p.s., ce qui est inférieur au niveau N1 de l'arrêté du 14 juin 2000 (90 mg/kg p.s.).
- La teneur en **nickel** rencontrée dans les sédiments de la darse 2 est de **51 mg/kg p.s.**, ce qui est supérieur au niveau N1 (37 mg/kg p.s.). Cependant, les sédiments du Golfe de Fos présentent aussi des concentrations en nickel comprises entre N1 et N2 (74 mg/kg p.s.) de l'arrêté du 14 juin 2000 : elles varient entre 22 mg/kg p.s. (pour le Port Pétrolier de Lavéra) et 52 mg/kg p.s. (pour la Darse 1).

Figure 4.3b Localisation des stations de surveillance des réseaux RNO, REMI, REPHY et REPOM du Golfe de Fos

4.2.8.4 - Bilan radiologique

Les radionucléides naturels et artificiels présents dans la zone d'étude ont diverses origines :

- **les radionucléides naturels** proviennent de la décroissance radioactive du thorium- 232 et de l'uranium- 238, le potassium- 40 étant quant à lui présent depuis la formation de la Terre. De plus, l'atmosphère contient de nombreux éléments radioactifs formés sous l'action du rayonnement cosmique, tels que le carbone- 14, le tritium, le beryllium- 7 et le radon- 222, descendant gazeux de l'uranium- 238 et du thorium- 232, contenu dans la croûte terrestre.
- **les radionucléides artificiels** proviennent généralement de l'exploitation de l'énergie nucléaire.

Les essais nucléaires atmosphériques, entrepris depuis 1945, avec une phase intense entre 1954 à 1962 dans l'hémisphère Nord sont à la base des premières sources de radionucléides artificiels dans l'environnement. Les derniers tirs atmosphériques nucléaires ont été réalisés par la Chine en 1980, dans l'hémisphère Sud.

L'accident nucléaire survenu le 26 avril 1986 à la centrale de Tchernobyl (Ukraine), a libéré dans l'atmosphère divers radionucléides représentatifs du cœur du réacteur dont les plus abondants ont été les isotopes 103 et 106 du Ruthénium, 134 et 137 du Césium, l'argent- 110m et également l'iode- 131.

Le Rhône et ses affluents dont les rives sont fortement industrialisées (six sites de production nucléaire d'électricité et l'usine de retraitement du combustible irradié de Marcoule), constituent les principaux vecteurs de divers radionucléides vers le bassin méditerranéen occidental. L'usine de retraitement de Marcoule est le site dont les rejets ont le plus fortement marqué le Rhône en tritium, ruthénium- 106 et cobalt- 60. Son activité s'est arrêtée en 1997.

Les données radiologiques existantes dans le Golfe du Lion et plus précisément dans le Golfe de Fos et ses abords, proviennent de l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire.

La campagne de carottages sédimentaires la plus récente à ce jour date de septembre 1997, mais la zone de prélèvement se limite à la stricte embouchure du Grand Rhône, au niveau de son *prodelta* (AGERO, 2000).

D'une manière générale, les niveaux de radioactivité artificielle présents au sein des sédiments sont relativement faibles. Pour les radiocésiums, les niveaux de césium- 137 et césium- 134, contenus dans les sédiments superficiels, ne sont plus caractérisés par l'accident de Tchernobyl ni par les rejets de Marcoule. En effet, les sédiments superficiels du *prodelta* du Rhône présentent une radioactivité en césium- 137 dans la même gamme de valeurs (de 10 à 20 Bq.kg⁻¹ sec) que dans les sédiments du Rhône en amont des centrales et des autres fleuves français et européens avant l'accident de Tchernobyl. Les sédiments du *prodelta* rhodanien prélevés en 1997 reflètent donc la signature des retombées

des essais atmosphériques directes sur la mer auxquelles s'ajoutent les apports drainés par le Rhône issus du lessivage de son bassin versant, et corrigées par la décroissance radioactive des éléments (AGERO, 2000).

Concernant les suivis radioécologiques RINBIO et OPERA¹² sur les moules (*Mytilus galloprovincialis*) du Golfe de Fos et ses abords, les résultats montrent la prépondérance du potassium-40 (entre 365 et 415 Bq.kg⁻¹ sec), élément naturel à longue vie, dans la radioactivité totale, avec le plomb-210. Le césium-137 quant à lui, est le seul radioélément artificiel détecté : les moules prélevées dans les stations sous influence rhodanienne présentent une activité variant entre 0,2 et 0,7 Bq.kg⁻¹ sec (THEBAULT *et al.*, 2000).

Concernant l'anse de Carteau, une étude sur la radioactivité dans tous les compartiments de l'écosystème marin semi-naturel (eau, Matières en suspension [MES], organismes vivants, biodépôts et sédiment) a été menée en 1998 par l'IPSN (THEBAULT et ALLIOTT, 2000).

Dans l'eau et les MES, le césium-137 est le seul radioélément artificiel émetteur γ détecté dont les niveaux se situent autour de 0,06 Bq/m³ pour le césium-137 particulaire (soit 3 Bq.kg⁻¹ sec de MES), et de 1,5 Bq.m⁻³ pour le césium-137 dissous. Dans les moules les biodépôts et les sédiments fraîchement déposés, les radionucléides artificiels détectés sont le césium-137, et le ruthénium-106 dont les niveaux moyens sont, pour le césium-137, de 13,5 Bq.kg⁻¹ sec pour le sédiment fraîchement déposé, de 23,5 Bq.kg⁻¹ sec pour les biodépôts et de 0,80 Bq.kg⁻¹ sec pour les moules ; pour le ruthénium-106, 13,4 Bq.kg⁻¹ sec pour les biodépôts et 9,7 Bq.kg⁻¹ sec pour les moules. Dans les sédiments, l'activité du césium-137 dans les niveaux superficiels varie entre 15,3 et 23 Bq.kg⁻¹ sec, ce qui correspond avec les résultats du sédiment du *prodelta* rhodanien. Cependant, cette zone a un faible taux de sédimentation, de l'ordre de 3 cm/an, et plus en profondeur, les sédiments présentent des niveaux plus importants en césium-137 pouvant aller jusqu'à 65 Bq.kg⁻¹ sec au niveau 18-20 cm de la carotte (THEBAULT et ALLIOTT, 2000).

En avril 2000, des teneurs anormalement élevées étaient rencontrées dans des sédiments de plage de Camargue. Le sédiment le plus contaminé présentait des valeurs de l'ordre de 1 600 Bq.kg⁻¹ pour l'uranium-238 et ses descendants et de l'ordre de 2 000 Bq.kg⁻¹ pour le thorium-232 et ses descendants, pour un niveau naturel attendu de 20 à 50 Bq.kg⁻¹. Aucun radioélément artificiel n'était cependant retrouvé. L'origine de cette forte radioactivité naturelle est celle des minéraux associés (monazite et zircon) qui proviendrait du lessivage de sols granitiques sur le bassin versant du Rhône (massifs hercyniens français de signature alpine) et de leur transport.

¹² RINBIO = Réseau Intégrateurs Biologiques (moules) ; OPERA = Observatoire Permanent de la Radioactivité

4.2.9 - Flore et faune marines au large du Golfe de Fos

4.2.9.1 - Matériels et méthodes

4.2.9.1.1 - Principes généraux

Le sédiment constitue un habitat potentiellement colonisable par une faune qui vit enfouie ou bien sur le substrat où elle recherche sa nourriture. La présence ou l'absence de faune reflète la qualité du milieu dans lequel elle vit. La richesse de cette faune va dépendre des caractéristiques du milieu, naturelles et/ou liées à d'éventuels apports anthropiques de matière organique ou de contaminants chimiques. La recherche complémentaire d'espèces indicatrices va permettre de détecter l'existence éventuelle de dysfonctionnements écologiques.

L'approche privilégiée dans la présente étude est une approche fonctionnelle, qui s'appuie sur la connaissance des modes d'alimentation (ou modes trophiques) des espèces présentes. En effet, il est possible, à partir de la distribution des groupes trophiques (suspensivores, dépositivores, carnivores), d'évaluer la nature et la quantité de matière organique biodisponible. La matière organique est en effet généralement véhiculée par la colonne d'eau sous forme de matériel particulaire. Selon l'intensité des facteurs hydrodynamiques, cette ressource trophique va, soit s'accumuler au niveau des sédiments, soit rester en suspension dans la colonne d'eau. Selon les cas, l'impact sur le milieu, reflété par la composition trophique du peuplement, ne sera pas le même.

4.2.9.1.2 - Plan d'échantillonnage

La faune benthique a été échantillonnée en neuf stations au large du Golfe de Fos, dont la profondeur varie entre 50 et 90 mètres (**cf. Figure 4.4 et Planches photographiques 4.1 et 4.2**).

4.2.9.1.3 - Variables mesurées

L'analyse des peuplements benthiques est basée sur un inventaire qualitatif et quantitatif des espèces présentes à chaque station (nombre d'individus de chaque espèce par unité de surface de sédiment échantillonné). A partir de cet inventaire, est calculée la densité de chaque espèce, c'est-à-dire le nombre d'individus de chaque espèce présents par mètre carré de sédiment. Ensuite, pour chaque station, sont calculés plusieurs indices permettant de décrire la structure et la composition des peuplements.

Le mode de calcul de ces indices sera décrit ultérieurement dans le chapitre 4.2.9.1.6 - *Traitement des données*.

4.2.9.1.4 - Collecte et conservation des échantillons

Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne Van Veen en acier inoxydable, manœuvrée à l'aide d'un câble à partir du bateau (**cf. Planche photographique 4.4**). Cette benne est constituée de deux éléments articulés formant des mâchoires qui pénètrent dans le sédiment par gravité en position ouverte. La fermeture de la benne est provoquée par la traction du câble à la remontée. La surface prélevée par une benne est de 0,1 m². Une fois à bord, le contenu de la benne est déversé dans un bac en plastique pour faciliter la manipulation du sédiment. Trois bennes de sédiment sont prélevées à chaque station, soit une surface échantillonnée de 0,3 m², afin d'obtenir un échantillon représentatif de chaque station.

Le contenu de ces bennes est déversé dans un fût et malaxé jusqu'à obtention d'une suspension la plus homogène possible. Le contenu du fût est ensuite déversé sur un tamis en acier inoxydable de 1 mm de vide de maille de manière à éliminer le matériau sédimentaire fin pour ne recueillir que le refus, constitué des organismes vivants mélangés aux débris grossiers. Le tamis est rincé et le refus obtenu prélevé et mis en sac après avoir pris la précaution de prélever tous les organismes restant fixés au tamis.

Un mélange de 50% de formol et de 50% d'eau de mer est ajouté au refus de manière à ce que celui-ci baigne entièrement dans le mélange afin de garantir la préservation de l'échantillon. Une pincée de Rose Bengale est ajoutée à l'échantillon, puis le sac plastique est fermé après avoir enlevé l'excès d'air. Ce premier sac, comportant le numéro de la station, est doublé d'un second sac plastique de manière à limiter les pertes de liquides ou d'organismes, les débris de coquilles pouvant facilement percer les sacs. L'échantillon ainsi conditionné est conservé jusqu'à son arrivée au laboratoire d'analyse à température ambiante dans un contenant à fond étanche, maintenu fermé pour limiter les dégagements de vapeurs de formol.

4.2.9.1.5 - Protocoles d'analyse

A leur arrivée au laboratoire de CREOCEAN, les échantillons ont été rincés et les organismes triés par grands groupes systématiques. Chaque groupe d'organismes a ensuite été remis à un spécialiste, de manière à garantir la qualité des déterminations spécifiques.

Les individus ont été identifiés jusqu'à l'espèce lorsque c'est possible, puis dénombrés, station par station. Il en résulte un tableau de données brutes, dans lequel les valeurs sont exprimées en nombre d'individus de chaque espèce par surface échantillonnée (0,3 m²).

Chaque espèce est ensuite caractérisée par son embranchement et son code trophique.

Figure 4.4 localisation des stations de prélèvement de sédiment (benthos) au large du Golfe de Fos

Planche photographique 4.4 Navire et matériel d'échantillonnage des sédiments superficiels

4.2.9.1.6 - Traitement des données

4.2.9.1.6.1 - Structure générale du peuplement

L'évaluation de la structure générale du peuplement est effectuée pour chaque station à partir du calcul de plusieurs indices :

- **la richesse spécifique** : nombre total d'espèces recensées ;
- **la densité totale** : nombre total d'individus par m² ;
- **l'indice de diversité** de Shannon- Wiener H (exprimé en bits), où s est le nombre d'espèces, N le nombre total d'individus, n_i le nombre d'individus de chaque espèce « i » :

$$H = - \sum_{i=1}^s [n_i/N \log_2(n_i/N)]$$

- **l'indice d'équitabilité** J (exprimé en %), expression en pourcentage de la diversité :

$$J = H / H \text{ max} = H / \log_2 s$$

4.2.9.1.6.2 - Composition générale du peuplement

4.2.9.1.6.2.1 - Les grands types de biocénoses

Chaque type de sédiment présent en milieu marin est caractérisé par un groupe d'espèces que l'on ne rencontre que dans ce biotope. Une liste d'espèces a ainsi été établie par PICARD en 1965 puis complétée par la suite par les benthologues de la région marseillaise, pour chacun des milieux suivants :

Sables Fins des Hauts Niveaux (SFHN) ;

Sables Fins Bien Calibrés (SFBC) ;

Sables Grossiers et Fins Gravier sous Influence des Courants de Fonds (SGCF) ;

Fonds Détritiques Côtiers (DC) ;

Fonds Détritiques Envasés (DE) ;

Sédiments Vaseux en Mode Calme (SVMC) ;

Vase Terrigène Côtière (VTC) ;

Lagunaire Euryhaline et Eurytherme (LEE).

Le degré d'affinité entre la biocénose d'une station et un de ces biotopes correspond au rapport de la somme des abondances des espèces caractéristiques d'une biocénose donnée sur la somme des abondances de toutes les espèces caractéristiques des autres biotopes présentes dans la station.

Un degré d'affinité biocénotique supérieur à 50% détermine l'appartenance de la station à la biocénose correspondante.

4.2.9.1.6.2.2 - Les espèces indicatrices d'une perturbation

Lorsque le milieu est soumis à une perturbation, un nouveau peuplement se met en place, dont la composition dépend du degré de sensibilité (vis-à-vis des teneurs en contaminants, de l'oxygène...) et d'adaptabilité de chaque population aux nouvelles conditions du milieu (granulométrie, compétition interspécifique...) :

certaines espèces dites indicatrices de pollution (la plus classique étant *Capitella capitata*), atteindront leur densité maximale à proximité de la source de perturbation, profitant de l'absence de compétition avec des espèces plus sensibles ;

les espèces tolérantes (polychètes spionidés, bivalves ubiquistes...) disparaîtront dans un premier temps et réapparaîtront ensuite en grand nombre ;

les espèces indifférentes comme par exemple les carnivores, ne subiront que de légères diminutions de leurs effectifs. Leur abondance traduira cependant l'occurrence de mortalités massives et régulières ;

enfin les espèces sensibles telles que les suspensivores seront largement dominantes en condition normale et observeront un gradient de densité croissant avec la distance à la source de perturbation.

La recherche d'espèces bioindicatrices permet de mettre en évidence les relations existant entre le niveau de dégradation du sédiment et la présence ou l'absence de certaines espèces.

Deux catégories d'espèces indicatrices sont mises en évidence :

- **les espèces indicatrices d'un excès de matière organique ;**
- **les espèces indicatrices d'une hypersédimentation de sables fins.**

La densité des différentes espèces bioindicatrices est calculée par rapport à la densité totale du peuplement.

4.2.9.1.6.3 - Fonctionnement écologique

L'analyse du fonctionnement écologique de la zone d'étude a été effectuée sur l'ensemble des stations.

4.2.9.1.6.3.1 - Etude des embranchements et des espèces dominantes

Les espèces dominantes sur l'ensemble de la zone ont été identifiées, ainsi que les embranchements les plus abondants.

4.2.9.1.6.3.2 - Détermination de l'indice trophique

L'indice trophique (IT) est un indice fonctionnel en cours de validation en Méditerranée.

La formule permettant de le calculer est la suivante :

$$IT = 100 - [33,33 \{(0n_1+1n_2+2n_3+3n_4) / (n_1+n_2+n_3+n_4)\}]$$

où n_1 , n_2 , n_3 et n_4 correspondent aux abondances respectives des groupes trophiques 1 (suspensivores), 2 (détritivores = carnivores), 3 (dépositivores) et 4 (organismes se nourrissant dans des sédiments anaérobies).

L'objectif étant d'apprécier, au travers de la structure trophique des peuplements, l'état de dégradation des fonds du fait de l'accumulation de matière organique, les coefficients multiplicateurs 0, 1, 2 et 3 affectés à chaque groupe sont proportionnels au degré d'association de l'espèce avec le sédiment vis-à-vis de sa stratégie trophique. Ainsi, les espèces suspensivores, complètement dépendantes de la colonne d'eau, sont affectées du coefficient le plus faible.

Les valeurs de l'indice sont exprimées en pourcentage et varient de 0 à 100%.

4.2.9.2 - Résultats et interprétation

L'ensemble des résultats bruts des analyses du peuplement benthique ainsi que les différentes données issues de calculs sont donnés en annexe.

4.2.9.2.1 - Structure générale du peuplement

4.2.9.2.1.1 - Richesse spécifique

La richesse spécifique correspond au nombre total d'espèces présentes à chaque station. Ce paramètre permet une première caractérisation de l'état d'équilibre ou de perturbation du milieu. En effet, dans un milieu

non perturbé, le nombre d'espèces est important et augmente avec la variété des substrats ou de la nourriture disponibles. Lorsque survient une perturbation, telle qu'un excès de matière organique, la modification des conditions du milieu entraîne la disparition d'un certain nombre d'espèces. Seul un petit nombre d'entre elles, dites opportunistes, parvient à se développer et à tirer profit, à la fois du surcroît de matières nutritives et de l'absence de compétition avec les autres espèces.

Sur la totalité des 9 stations échantillonnées, 111 espèces ont été dénombrées, ce qui correspond à une richesse globale en espèces moyenne assez faible (**cf. Annexe 4.7**).

La richesse moyenne est de 42 ± 14 espèces par station. Toutes les stations sauf une ont un nombre d'espèces inclus dans l'intervalle de confiance (28 à 56 espèces). Pour ces stations, le nombre d'espèces minimum est de 32 espèces à la station 1 (où la profondeur est de 50 m) et le maximum de 45 espèces à la station 7 (80 m de profondeur). La station faisant exception est la station 2 (50 m de profondeur), où 77 espèces sont recensées, soit significativement plus que sur le reste de la zone (**cf. Figure 4.5a**).

Aucune corrélation entre le nombre d'espèces présentes et la profondeur de la station n'est mise en évidence.

4.2.9.2.1.2 - Densité totale

La densité totale correspond au nombre total d'individus présents à chaque station. Dans un milieu non perturbé, le peuplement est composé d'espèces de grande taille, dont la densité augmente avec la quantité de ressources nutritives disponibles. Dans un milieu perturbé par un excès de matière organique, on assiste généralement à une prolifération d'espèces de petite taille.

Sur la totalité des 9 stations échantillonnées, la densité totale fluctue entre 400 et 1463 ind./m² (**cf. Figure 4.5b et Annexe 4.7**), et la moyenne est de 821 ± 388 ind./m². Ces valeurs correspondent à une densité totale moyenne.

Toutes les stations sauf trois ont une densité totale incluse dans l'intervalle de confiance (433 à 1209 ind./m²). Les trois stations présentant des effectifs significativement différents sont d'une part les stations 9 et 4, situées respectivement à 90 et 70 m de profondeur, qui présentent des effectifs inférieurs (respectivement 280 et 400 ind./m²), et d'autre part la station 5 (70 m de profondeur), où la densité totale est plus importante (1463 ind./m²).

Les stations 5 (70 m), 6 (80 m) et 7 (80 m) présentent une densité supérieure à 1000 ind./m², qui traduit des conditions environnementales stables et la présence d'une ressource nutritive en quantité suffisante. Aux autres stations, la densité est inférieure à 1000 ind./m², ce qui correspond

à un effectif faible pour un milieu marin, en particulier aux stations 9 (90 m), 4 (70 m) et 8 (80 m) où les densités sont inférieures à 500 ind./m².

Aucune corrélation entre la densité du peuplement et la profondeur de la station n'est mise en évidence.

4.2.9.2.1.3 - Diversité

La diversité du peuplement, estimée par le calcul de l'indice de Shannon, traduit la façon dont les individus sont répartis entre les différentes espèces. Plus la répartition des espèces est équitable, plus la diversité est grande, ce qui traduit un état d'équilibre du peuplement. L'existence d'une perturbation entraîne un déséquilibre du peuplement qui se traduit par la prolifération d'un petit nombre d'espèces au détriment des autres et donc par une chute de la diversité.

L'équitabilité correspond à l'expression de la diversité en pourcentage, ce qui facilite l'interprétation des valeurs ainsi que la comparaison des stations entre elles. L'équitabilité prend une valeur comprise entre 0 et 100%, qui augmente avec l'état d'équilibre du peuplement.

Sur la totalité des 9 stations échantillonnées, la diversité fluctue entre 2,5 et 5,4 bits (**cf. Figure 4.5c**), et la moyenne est de $3,6 \pm 1$ bits. L'équitabilité varie entre 47 et 86% (**cf. Figure 4.5d**), autour d'une moyenne de $67 \pm 17\%$. Ces valeurs correspondent à une diversité importante et sont hétérogènes (**cf. Annexe 4.7**).

Toutes les stations sauf trois ont une diversité incluse dans l'intervalle de confiance (2,6 à 4,6 bits). Les trois stations présentant une diversité significativement différente sont d'une part les stations 1 et 6, situées respectivement à 50 et 80 m de profondeur, qui présentent une diversité légèrement inférieure (2,5 bits), et d'autre part la station 2 (50 m de profondeur), où la diversité est plus importante (5,4 bits).

Toutes les stations sauf cinq ont une équitabilité incluse dans l'intervalle de confiance (50 à 80%). Les cinq stations présentant une équitabilité significativement différente sont d'une part les stations 6 et 7, situées respectivement à 80 et 70 m de profondeur, qui présentent une équitabilité légèrement inférieure (respectivement 47 et 49%), et d'autre part les stations 9, 2 et 4 (situées respectivement à 90, 70 et 70 m de profondeur), où l'équitabilité est légèrement plus importante (respectivement 85, 86 et 86%).

Aucune corrélation entre la diversité ou l'équitabilité et la profondeur des stations n'est mise en évidence.

Figure 4.5abcd : structure générale du peuplement benthique

4.2.9.2.1.4 - Synthèse sur la structure générale du peuplement

Le peuplement de la zone d'étude est moyennement riche en espèces et en individus et peu homogène. Sa structure générale n'est pas liée à la profondeur.

La station 2, dont la profondeur est de 50 mètres, se distingue des autres par une richesse en espèces et une diversité significativement plus importantes que sur le reste de la zone. Il s'agit donc de la station présentant le peuplement le plus sensible, au regard de sa structure générale.

Les stations où le peuplement benthique est le moins sensible sont celles qui présentent les plus faibles valeurs de diversité, c'est-à-dire les stations 1 et 6, situées respectivement à 50 et 80 mètres de profondeur.

4.2.9.2.2 - Fonctionnement écologique

4.2.9.2.2.1 - Répartition des grands types de peuplements

Le degré d'affinité entre la biocénose d'une station et les biocénose-types définies et décrites par Picard en 1965, est calculé en ramenant l'effectif de toutes les espèces caractéristiques d'un biotope donné à l'effectif de toutes les espèces caractéristiques de tous les autres biotopes. Un peuplement est associé à un biotope lorsque ce rapport est supérieur à 50%. Si la biocénose dominante a un degré d'affinité inférieur à 50%, c'est que la station se situe dans une zone de transition avec un autre peuplement ou bien qu'elle se trouve sous l'influence d'un facteur perturbateur.

La totalité des stations d'échantillonnage présente un pourcentage supérieur à 50% d'espèces typiques des Vases Terrigènes Côtières (**cf. Tableau 4.4 ; Figure 4.6**). Ce pourcentage fluctue sur l'ensemble de la zone entre 54 et 98%, la moyenne étant de $85 \pm 15\%$. Le peuplement de l'ensemble des stations est donc représentatif d'une zone soumise à un envasement rapide et continu, les vases décantées étant d'origine tellurique et apportées par le Rhône.

Deux stations seulement ont un pourcentage d'espèces typiques des Vases Terrigènes Côtières non inclus dans l'intervalle de confiance (70 à 100%). Il s'agit des stations 2 et 4 (situées respectivement à 50 et 70 mètres de profondeur), qui présentent un pourcentage inférieur à celui obtenu aux autres stations (respectivement 54 et 65%).

La station 2 comporte par ailleurs 20% d'espèces typiques des fonds détritiques envasés, dont la présence est représentative d'un envasement

plus lent. La station 4 quant à elle présente environ 20% d'espèces typiques des sables fins bien calibrés, dont la présence traduit un effet de dispersion d'énergie de la houle. Ces deux stations présentent donc une aptitude à l'envasement moins importante et moins rapide que l'ensemble des autres stations.

Aucune corrélation entre le pourcentage d'espèces typiques des Vases Terrigènes Côtières et la profondeur des stations n'est mise en évidence.

4.2.9.2.2.2 - Indice trophique

L'indice trophique est un indice biologique fonctionnel qui traduit le degré de perturbation du peuplement par une accumulation de matière organique dans le milieu.

4.2.9.2.2.2.1 - Principes écologiques

L'indice trophique prend en compte la stratégie trophique des espèces benthiques, définie sur la base de trois critères :

- le type de matériel nutritif récolté (détritiques, dépôts) ;
- le compartiment dans lequel ce matériel est récolté (colonne d'eau, surface ou sub-surface du sédiment) ;
- le mode de capture mis en œuvre pour collecter le matériel (capture passive ou active à partir d'appendices, capture par pompage et filtrage, capture par fouille du substrat, utilisation de l'habitat).

Quatre groupes trophiques sont définis :

- groupe 1 : les suspensivores se nourrissant dans la colonne d'eau ;
- groupe 2 : les détritivores se nourrissant de particules de petite taille prélevées à l'interface eau/sédiment et dans le sédiment ;
- groupe 3 : les dépositivores se nourrissant de particules de plus grande taille à la surface du sédiment ou dans le sédiment. Certains de ces organismes peuvent être assimilés à des carnivores ;
- groupe 4 : les organismes se nourrissant dans des sédiments anaérobies.

A chaque espèce correspond donc un groupe trophique lié à son mode d'alimentation.

Figure 4.6 : pourcentage d'espèces typiques des vases terrigènes côtières

Et

Tableau 4.4 : degré d'affinité biocénotique

4.2.9.2.2.2 - Signification de l'indice

Les valeurs de l'indice varient entre 0 et 100. De manière strictement mathématique, ces valeurs apportent des informations sur la composition trophique du peuplement.

Pour traduire l'état du milieu, trois intervalles de valeurs sont retenus :

IT > 60 (peuplement normal)

La station est caractérisée par un peuplement non dégradé dominé soit par des espèces suspensivores (IT > 100%), soit par des détritivores de surface (IT < 70%). Ces espèces témoignent de l'existence d'un hydrodynamisme suffisant pour disperser les particules et donc empêcher toute accumulation de matière organique sur le fond : ce peuplement traduit donc l'absence d'accumulation de matière organique au niveau du sédiment.

30 < IT < 60 (peuplement déséquilibré)

La présence d'espèces depositivores de surface, collectant les particules après qu'elles se soient déposées, traduit un affaiblissement des courants de fond. Il en résulte une accumulation de matériel organique sur le fond et la présence d'un peuplement adapté. Cette situation, qui apparaît naturellement à partir d'une certaine profondeur, peut également survenir en cas d'apports anthropiques de matière organique.

IT < 30 (peuplement perturbé)

Un peuplement dominé par des espèces depositivores de subsurface témoigne d'une accumulation dans le sédiment de particules organiques. Cette accumulation, lorsqu'elle devient trop importante, est consommatrice d'oxygène contenu dans le sédiment, qui devient alors anaérobie. On est en présence, à ce stade, d'un peuplement dégradé, traduisant une forte accumulation de matière organique sur le fond.

4.2.9.2.2.2.3 - Application à la zone d'étude

L'indice trophique calculé pour chacune des 9 stations d'échantillonnage est compris entre 57 et 68%, la moyenne étant de $61 \pm 3\%$ (cf. **Figure 4.7** et **Annexe 4.7**). Ces valeurs sont très homogènes et proches du seuil de 60%, qui marque la limite entre un peuplement normal et un peuplement adapté à un certain enrichissement de matière organique. Le peuplement de la zone est donc soumis à peu d'apports de matière organique. Ceux-ci se déposent sur le fond et sont rapidement exploités par la macrofaune, comme en témoigne le fort pourcentage d'espèces détritivores, qui exploitent les particules déposées à la surface du sédiment.

Le peuplement de l'ensemble de la zone est donc normal et quasiment pas perturbé par des apports de matière organique.

Deux stations présentent un indice trophique non inclus dans l'intervalle de confiance (58 à 64%). Il s'agit d'une part de la station 9 (90 mètres), où l'indice est légèrement plus faible (57%) que sur le reste de la zone, et d'autre part de la station 3 (60 mètres), où l'indice est significativement plus élevé (68%).

Aucune corrélation entre la valeur de l'indice trophique et la profondeur des stations n'est mise en évidence.

4.2.9.2.2.3 - Espèces bioindicatrices

Bien que le degré d'affinité avec la biocénose des Vases Terrigènes Côtières soit élevé à chaque station et que l'indice trophique soit également élevé, ce qui montre que le peuplement n'est soumis à aucune perturbation importante, la présence d'espèces indicatrices d'une perturbation du milieu ont été recherchées et leur abondance relative a été calculée par rapport à la densité totale du peuplement (**cf. Tableau 4.5 et Annexe 4.7**).

Deux types d'espèces bioindicatrices ont été identifiés :

- les espèces indicatrices d'un enrichissement du milieu en matière organique ;
- les espèces indicatrices d'une hypersédimentation des sables fins, qui supportent un certain taux de vase mais pas un envasement trop important, au risque de disparaître au profit d'espèces significatives de la biocénose des Vases Terrigènes Côtières.

Cinq espèces indicatrices d'un enrichissement en matière organique sont présentes sur l'ensemble de la zone, avec des densités variables selon les espèces et les stations. Les densités relatives de ces espèces varient entre 3,7 et 12,5% (**cf. Figure 4.8a**), autour d'une moyenne de $7,4 \pm 3,1\%$. Ces faibles taux traduisent un léger processus d'accumulation de matière organique dans le sédiment de la zone.

Quatre stations présentent un pourcentage d'espèces indicatrices d'un enrichissement en matière organique non inclus dans l'intervalle de confiance (4,3 à 10,5%). Ce sont d'une part les stations 6 et 7 (situées à 80 mètres de profondeur), qui présentent un taux plus faible que sur le reste de la zone (respectivement 3,7 et 4,2%), et d'autre part les stations 4 et 8 (situées respectivement à 70 et 80 mètres de profondeur), qui elles présentent des taux significativement plus importants (respectivement 12,5 et 11,6%).

Une seule espèce indicatrice d'une hypersédimentation des sables fins est présente sur la zone d'étude, dont le pourcentage varie entre 0 et 1,8% (**cf. Figure 4.8b**), la moyenne étant de $0,7 \pm 0,6\%$. Ces très faibles taux traduisent un très léger processus de sédimentation de sables fins.

Quatre stations présentent un pourcentage d'espèces indicatrices d'une hypersédimentation des sables fins non inclus dans l'intervalle de confiance (0,1 à 1,3%). Ce sont d'une part les stations 8 et 9 (situées respectivement à 80 et 90 mètres de profondeur), exemptes de telles espèces bioindicatrices, et d'autre part les stations 2 et 6 (situées respectivement à 50 et 80 mètres de profondeur), qui elles présentent des taux significativement plus importants (respectivement 1,8 et 1,5%).

Figure 4.7 : indice trophique

Figure 4.8ab : pourcentage d'espèces bioindicatrices

et

Tableau 4.5 : densité relative des espèces bioindicatrices

Sur l'ensemble de la zone, les pourcentages d'espèces bioindicatrices sont faibles quelle que soit la station, et leur présence n'est pas corrélée avec la profondeur de la station.

4.2.9.2.2.4 - Espèces dominantes

Du point de vue des embranchements (cf. **Figure 4.9 et Annexe 4.7**), le peuplement de l'ensemble de la zone échantillonnée est largement dominé par les annélides, avec en moyenne 640 ± 355 ind./m², soit 75% de l'effectif total (63 à 88% selon la station). Les crustacés arrivent en deuxième position avec 61 ind./m² (9% de l'effectif total et entre 1,5 et 20% selon la station), puis les mollusques, avec 60 ind./m² (8% de l'effectif total et entre 2 et 15%).

Les espèces les plus abondantes sur l'ensemble de la zone, sont les suivantes :

- l'annélide polychète *Sternaspis scutata* (47% de la densité totale), dont la densité varie entre 37 et 907 ind./m² selon la station ;
- le mollusque bivalve *Thyasira flexuosa* (5% des individus) : 13 à 97 ind./m² selon la station ;
- l'annélide polychète *Levinsenia gracilis* (3%) : 3 à 67 ind./m² ;
- le cnidaire *Coronata* sp.1 (3%) : 0 à 167 ind./m² ;
- l'annélide polychète *Laonice bahusiensis* (2%) : 0 à 117 ind./m² ;
- l'annélide polychète *Lumbrineris latreilli* (2%) : 0 à 83 ind./m².

La polychète *S. scutata* est une des deux espèces, avec le mollusque bivalve *Abra nitida*, absent des prélèvements, les plus représentatives de l'aspect typique de la biocénose des Vases Terrigènes Côtières. Elle domine largement le peuplement alors que la polychète *L. latreilli*, indicatrice d'instabilité sédimentaire, n'atteint que 2% de la densité totale. *T. flexuosa* est quand à elle indicatrice d'un enrichissement du milieu en matière organique. Son effectif la place en deuxième position des espèces les plus abondantes, mais elle ne représente que 5% de l'effectif total.

Cette répartition des espèces dominantes en relation avec leurs exigences écologiques, indique que l'on est en présence d'une biocénose proche de l'aspect typique de la biocénose de Vases Terrigènes Côtières.

Figure 4.9 : densité des embranchements

4.2.9.2.2.5 - Synthèse sur le fonctionnement écologique de la zone

Le peuplement de l'ensemble de la zone présente un fort degré d'affinité pour les Vases *Terrigènes* Côtières, un indice trophique élevé, ainsi qu'une faible proportion d'espèces bioindicatrices. La biocénose en place, représentative d'une zone soumise à un envasement rapide et continu, est donc bien identifiée et le peuplement non affecté par une perturbation.

Deux stations présentent des degrés d'affinité, pour ce type de milieu, très peu supérieurs à 50% :

- la station 2 (50 mètres), qui présente par ailleurs le plus fort pourcentage d'espèces indicatrices d'une hypersédimentation de sables fins. La biocénose en place, inféodée à un fort taux d'envasement, tend à être perturbée à cette station par des apports plus grossiers, dus à une énergie hydrodynamique plus importante que sur le reste de la zone ;
- la station 4 (70 mètres), qui présente par ailleurs le plus fort taux d'espèces indicatrices d'un enrichissement en matière organique. La biocénose en place à cette station tend à être perturbée par un surcroît de matière organique dans le sédiment.

Les stations 2 et 4 présentent des biocénoses bien identifiées, comme l'ensemble des autres stations, mais sont les moins stables car les moins propices à l'accumulation de vases pures. La biocénose de la station 2 tend vers un déséquilibre dû au manque d'apport de vases et à une sédimentation de sables fins tandis que la station 4 tend vers un état de déséquilibre dû à un apport de particules sableuses enrichies en matière organique. Les stations 6 et 8 sont soumises aux mêmes processus que respectivement les stations 2 et 4, mais de manière moins prononcée.

Ces stations sont donc situées dans des zones de plus forte énergie hydrodynamique que les autres stations. L'apport de déblais de dragage à leur niveau, pour peu qu'ils soient très vaseux, aura tendance à se disperser.

4.2.9.2.3 - Discussion

Une analyse du peuplement benthique a été réalisée en sortie du Golfe de Fos au niveau d'une zone peuplée par une biocénose typique des Vases *Terrigènes* Côtières, par environ 35 mètres de fond, en 1964 par Fébvre-Chevalier (1969) puis en 1979 par Salen-Picard (1982), c'est-à-dire avant et après le déversement de rejets de dragage du chenal d'accès aux darses du port de Fos de 1969 à 1972.

A court terme, l'apport des déblais a eu pour effet, en relation avec la texture des matériaux rejetés, de favoriser le développement d'espèces inféodées aux fractions de sables et graviers du sédiment, en particulier mollusques et petits crustacés, et ce au détriment des espèces vasicoles. La polychète *Maldane glebifex*, dominante avant l'apport de déblais, a par exemple complètement disparu de cette partie du Golfe de Fos et la structure biocénotique a été altérée jusqu'en 1975, le peuplement renfermant alors en mélange des espèces caractéristiques de plusieurs biocénoses. Les espèces vasicoles telles *M. glebifex* ont été remplacées d'une part par d'autres espèces vasicoles comme le mollusque bivalve *Thyasira flexuosa*, favorisées par la turbidité engendrée par la remise en suspension des sédiments, et d'autre part par des espèces telles la polychète *Lumbrineris latreilli*, indicatrices d'instabilité sédimentaire.

A plus long terme (jusqu'en 1979), après que les rejets de matériaux grossiers aient cessé, le fond s'est rapidement envasé et ont été observées des proliférations d'espèces vasicoles telles *T. flexuosa*, *L. latreilli* et *Corbula gibba*.

Lors d'un nouvel échantillonnage effectué en 1993 par le groupement TERSUD, ERAMM et COM-SME, les prélèvements sur ce même site se sont avérés moyennement riches en espèces (139) et en individus et bien équilibrés (diversité = 5,42 bits et équitabilité = 76%). Le peuplement était largement dominé par les annélides polychètes (81% du peuplement total) suivis des mollusques (12%), des crustacés (3%) et des échinodermes (2%). La biocénose en présence s'est avérée typique des Vases Terrigènes Côtières. Mais contrairement à l'aspect typique de cette biocénose dans lequel les espèces les plus représentatives sont le mollusque bivalve *Abra nitida* et la polychète *Sternaspis scutata*, les espèces caractéristiques exclusives les mieux représentées étaient le polychète *Tharyx heterochaeta* (8%) et le petit mollusque bivalve *Thyasira croulinensis* (5%). L'espèce à large répartition géographique *L. Latreilli* constituait alors l'espèce la plus fréquente (20%). Le peuplement en présence constituait un aspect appauvri de la biocénose des Vases Terrigènes Côtières. Avec la stabilisation sédimentaire, une lente réinstallation du peuplement initial s'est amorcée, mais le nouvel équilibre est resté très éloigné de l'état initial, le degré d'affinité avec la biocénose des Vases Terrigènes Côtières n'était que de 54% en 1993 alors qu'il était de 82% (1964) avant les rejets de déblais de dragage.

Les résultats des analyses réalisées en 2001, dans le cadre de la présente étude, ne peuvent être comparés de manière stricte aux résultats antérieurs, compte tenu des différences dans les protocoles et matériels de prélèvement. Néanmoins les 9 stations échantillonnées en 2001 sont moyennement riches en espèces et en individus et assez bien diversifiées, caractéristiques communes aux peuplements typiques de Vases Terrigènes Côtières. Le degré d'affinité du peuplement avec la biocénose des Vases Terrigènes Côtières varie en 2001 entre 54 et 98% selon les stations, la moyenne étant de 85%. Par ailleurs, *L. latreilli* est absent dans quatre échantillons et atteint un taux maximal de 9% à la station 2, où par ailleurs le degré d'affinité du peuplement avec la biocénose des Vases Terrigènes Côtières est le plus bas de toute la zone.

Les caractéristiques actuelles du peuplement de la zone d'étude, par comparaison avec l'aspect appauvri de la biocénose des Vases Terrigènes Côtières décrit en 1993 dans une zone du Golfe de Fos deux à trois fois moins profonde, indiquent que l'on est en présence de l'aspect typique de la biocénose des Vases Terrigènes Côtières au niveau de toutes les stations d'échantillonnage, à l'exception des stations 2 et 4, qui représentent un aspect appauvri de cette biocénose.

4.2.10 - Flore et faune marines en darse 2

Le sédiment superficiel de la darse 2 est fin et dépourvu d'éléments grossiers. Il peut temporairement être recouvert de vase. Les fonds sont meubles et correspondent à la biocénose des Sables Fins. Le substrat est essentiellement colonisé par un peuplement benthique pauvre dominé par des populations de vers (polychètes errantes et sédentaires autour de 40 à 80%), de crustacés (absence à 20%), de mollusques bivalves (absence à 40%), d'échinodermes (absence à 20%) et autres taxons.

La variabilité de ces peuplements est fortement dépendante de la nature de la couche superficielle du sédiment car elle favorise l'installation d'un cortège d'espèces indicatrices de l'instabilité potentielle du sédiment. Dans les darses des bassins Ouest du PAM et en particulier en darse 2, la remise en suspension des particules fines est tributaire des périodes de tempêtes. Elle se définit comme une zone de réception et de décantation temporaire ou alterne la sédimentation de particules fines et/ou de débris végétaux, et d'autre part leur remise en suspension lors de forts coups de vents (Sud-Est). La darse 2 est un milieu où la turbidité « naturelle » de l'eau peut donc être parfois importante.

Ainsi pour beaucoup d'organismes (plus de 50%), le mode de nutrition est la filtration. Cette catégorie d'organismes comprend les mollusques bivalves et les polychètes munis d'un panache tentaculaire. Pour les autres, ils sont essentiellement dépositivores ou carnivores.

Les peuplements indigènes de la darse 2 sont plutôt opportunistes et adaptés à la capture de particules en suspension présentes dans l'eau. Naturellement, les conditions hydrodynamiques contribuant à ces remises en suspension ne favorisent pas les espèces détritivores. Les espèces carnivores sont quant à elles implantées autour des sources potentielles de cadavres de faune fixée sur les substrats durs (piliers des appontements, quais, enrochements).

Une plongée d'observation a été menée le 31 octobre 2001 le long de la rive Ouest du môle Central par des profondeurs de 1 à 12 m. Les observations et relevés ont montré que :

à faible profondeur (1 - 6 m), on a un peuplement dominé numériquement par les moules sur lesquelles sont fixées des anémones et par les vérétilles (Cnidaires « méduses fixées »). Le sédiment est relativement propre (sédiment vaso-sableux) par rapport à ce que l'on trouve plus bas (vases noires). Les vérétilles sont peu fréquentes à ces profondeurs par rapport à la zone 6- 12 m.

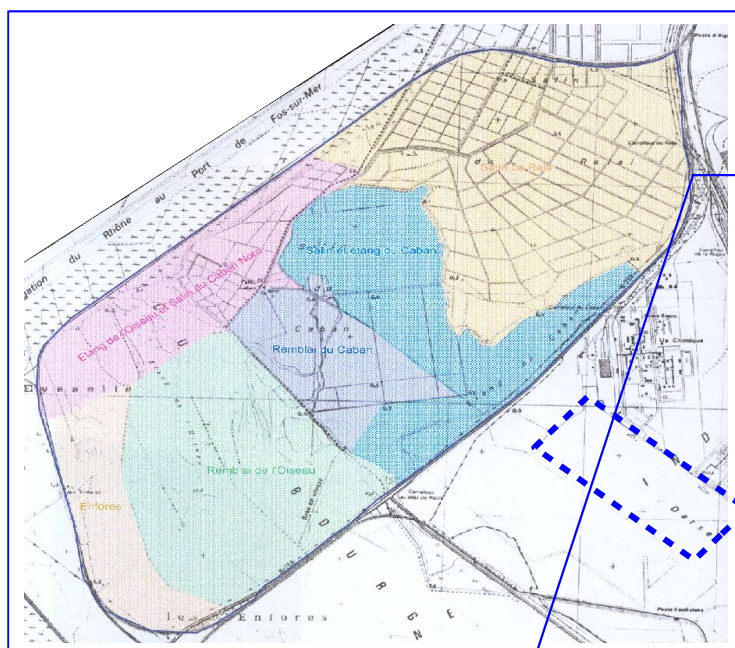
à plus grande profondeur (6 à 12 m) : les végétaux dominent largement le peuplement sur un substrat extrêmement vaseux. On ne trouve plus d'assemblages (blocs) de moules.

La richesse et la diversité sont très réduites indiquant un faciès extrêmement pauvre lié probablement au milieu très vaseux.

4.2.11 - Zone du CABAN

4.2.11.1 - Limite de l'aire d'étude

La zone d'étude se situe sur les anciens Salins du Caban et du Relai Sud à proximité de Fos-sur-mer. Cette zone est délimitée au Sud par la RN 268, au Nord et à l'Est par la voie ferrée, à l'Ouest par le chemin partant du carrefour du Mât de Ricca vers le Nord- Ouest.



4.2.11.2 - Histoire et paysage

Les Salins du Caban et du Relai ont été aménagés pour l'exploitation du sel dès 1882. L'activité salinière s'arrête un siècle plus tard au début des années 1980 après la vente des terrains de la compagnie des Salins du Midi et le creusement du canal du Rhône à Fos.

Aujourd'hui, en l'absence d'entretien, les digues et les bassins sont envahies par la végétation et évoluent vers des formations *halophiles* de types *sansouire* ou steppe à saladelles. De grandes étendues de vases sont visibles en été car il n'y a plus de gestion hydraulique dans le salin du Caban.

Autour du site, l'horizon est barré au Nord par le talus de la voie ferrée. Au Sud se dressent les immenses cheminées des usines pétrochimiques et sidérurgiques. A l'Est et à l'Ouest, ce sont des paysages d'étangs ou de remblais avec une végétation halophile de recolonisation.

L'intérêt paysager des anciens salins de la zone d'étude est tout de même assez important malgré la présence de ces éléments verticaux (usines, ligne haute tension, talus de la voie ferrée). D'ailleurs les inventaires des espaces littoraux sensibles à préserver au titre du L 146.6 du Code de l'urbanisme ont permis d'identifier 4 sites remarquables aux alentours de Fos dont le salin du Relai. Il s'agit en fait de la partie située au Nord de la voie ferrée qui n'est donc pas concernée par notre étude.

4.2.11.3 - Méthodologie

4.2.11.3.1 - Sources bibliographiques

Nous avons consulté les sources bibliographiques classiques à savoir les atlas de répartition national ou régional, des ouvrages de référence, ainsi que des périodiques spécialisés. Diverses études réalisées pour le Port Autonome de Marseille ont été aussi consultées. Nous remercions ici la TOUR DU VALAT pour nous avoir permis l'accès à leur base de données ainsi que Nicolas Beck qui nous a fourni ses données herpétologiques sur la zone d'étude..

Pour la flore, nous avons consulté le Livre Rouge de la flore menacée de France (OLIVIER *et al.*, 1995), l'Inventaire des Plantes protégées en France (DANTON & BAFFRAY, 1995), le Manuel d'Interprétation des habitats de l'Union Européenne (ROMAO, 1997), l'Atlas écologique des fougères et plantes alliées (PRELLI & BOUDRIE, 1992).

4.2.11.3.2 - Consultations de personnes ressources

Cette phase permet d'accéder à des informations précieuses et inédites par rapport à la bibliographie (inventaires non publiés, études d'ornithologues amateurs, observations ponctuelles, communications personnelles, ...). Elle permet également de prendre connaissance des réactions des spécialistes ou organismes concernés, d'en tenir compte et de bénéficier de l'expérience de ceux qui ont déjà été confrontés à des problématiques du même ordre. Enfin, des propositions de mesures de réduction d'impact ou de compensation peuvent être émises par ces personnes et intégrées dans cette étude, selon leur pertinence et la possibilité de les mettre en œuvre.

Il est à noter que les informations sont validés et/ou corrigés par les personnes consultées avant d'être intégrés dans cette étude.

La liste des personnes ou organismes contactés est la suivante :

- DIREN PACA, M. OLIVIER ;
- TOUR DU VALAT : M. SINNASSAMY, M. SADOUL, M. GRILLAS et M. BECK

4.2.11.3.3 - Expertises de terrain

Les inventaires et visites sur le terrain se sont déroulés aux dates suivantes :

Ornithologie	Analyse physique	Botanique	Commentaire
9 janvier 2001		9 janvier 2001	Oiseaux hivernants
	01 février 2001		
23 février 2001		23 février 2001	Fin oiseaux hivernants, début de migration

Ces prospections se sont déroulées tôt dans la saison. Cependant les données bibliographiques et la connaissance de la zone par la TOUR DU VALAT nous ont permis de bien appréhender les enjeux biologiques de la zone d'étude.

4.2.11.3.3.1 - 1La flore

La flore a été inventoriée au cours de deux prospections de terrain réalisées le 9 janvier et 13 février 2001.

Les espèces ont été notées au fur et à mesure de la prospection sous la forme de relevés floristiques. Ces derniers ont été réalisés en tenant compte de l'habitat correspondant sachant que, compte tenu de la saison, certaines espèces n'ont pas pu être décelées car non apparentes ou non reconnaissables.

Pour les habitats, la terminologie utilisée dans le texte correspond à celle de NATURA 2000 quand ces habitats font partie de l'Annexe I de la Directive Habitats. Les autres habitats suivent la terminologie code CORINE biotopes¹³.

4.2.11.3.3.2 - La faune

4.2.11.3.3.2.1.1 - Les oiseaux

Cette phase a pour but d'évaluer la qualité de l'avifaune sur le site étudié. L'inventaire des oiseaux s'est déroulé en deux séances d'une

¹³ Typologie européenne des habitats basés sur la nomenclature phytosociologique

journée afin de contacter un maximum d'espèces. Nous n'avons recensé que les oiseaux hivernants. Cependant, le site étant extrêmement bien suivi par les ornithologues locaux (TOUR DU VALAT et Conservatoire-Etudes des Ecosystèmes de Provence), nous avons disposé d'un nombre important de données sur ce site pour chaque période déterminante (hivernage, nidification, migrations) permettant d'évaluer l'intérêt ornithologique de la zone d'étude.

4.11.3.3.2.1.2 - Les autres groupes

La zone d'étude semblait intéressante pour d'autres groupes d'espèces comme les reptiles, les amphibiens et les crustacés. La période de prospection étant peu favorable pour détecter ces espèces, nous avons complété nos observations par des données bibliographiques et des consultations de naturalistes locaux pour évaluer l'intérêt du site.

4.2.11.4 - Prise en compte des inventaires officiels et de la réglementation

La prise en compte de la protection des espèces et des espaces naturels est à l'heure actuelle relativement complexe à percevoir. Il en existe plusieurs niveaux de lecture.

4.2.11.4.1 - Protection des espaces naturels

Certains sites et espaces naturels remarquables sont susceptibles d'être inclus dans un inventaire tel que défini plus loin ou bien de faire l'objet d'une protection légale.

4.2.11.4.1.1 - Les zones bénéficiant d'une protection réglementaire

Des statuts très divers de réglementation peuvent s'appliquer sur des espaces naturels. Les principaux sont des arrêtés de biotope, les réserves naturelles, les parcs nationaux, etc.

Il est clair que ces espaces bénéficiant d'une protection forte sont à priori évités par les projets d'aménagements.

4.2.11.4.1.2 - Les zones faisant partie d'un inventaire d'espaces remarquables

Il s'agit des ZNIEFF, des inventaires d'Espaces Naturels Sensibles (E.N.S.) des départements, ainsi que des zones remarquables portées dans la charte d'un Parc Naturel Régional par exemple. Ces inventaires existent dans chacune des régions françaises. S'il n'existe aucune contrainte réglementaire au sens strict sur ces espaces, leur prise en compte est obligatoire au cours de l'étude d'impact. Au-delà de l'aspect strictement juridique, ces inventaires donnent de précieuses indications sur la qualité des milieux naturels.

4.2.11.4.1.3 - Les zones désignées ou en cours de désignation au titre des directives européennes

Il s'agit de la Directive C.E.E. 92/43 relative aux habitats de la faune et de la flore sauvage (dite Directive Habitats), et de la Directive CEE 79/409 dite Directive Oiseaux.

La **Directive Oiseaux** signale un certain nombre d'espèces dont la conservation est jugée prioritaire au plan européen. La conservation de ces espèces peut donner lieu à la désignation de sites appelés ZPS (Zones de Protection Spéciale). Ces zones seront à terme intégrées dans le réseau Natura 2000 issu de la Directive Habitats.

La **Directive Habitats** concerne le reste de la faune et la flore. Elle introduit une notion fondamentale et novatrice en matière de droit s'appliquant à la préservation de la faune et de la flore ; il s'agit de la prise en compte non seulement des espèces mais également des milieux naturels ("les habitats") abritant ces espèces et indispensables à leur survie. Cette prise en compte à deux niveaux aboutit :

- A la création d'un réseau européen de sites naturels protégés, abritant des espèces et des habitats jugés prioritaires à l'échelle de la CEE. Ce réseau s'appelle le "réseau Natura 2000".
- A la transcription des espèces animales et végétales listées dans la directive dans les listes d'espèces protégées de droits nationaux de chacun des Etats membres.

La Directive habitats est progressivement mise en place dans l'ensemble de la communauté européenne depuis 1992 à 2004 au plus tard : chaque site proposé sera doté d'un document d'objectifs. Il s'agira à la fois d'un état des lieux et de la définition d'orientations de gestion. Pour chaque site, il recensera tant les espèces et les habitats remarquables, que les usages locaux. Etabli à la suite d'une large concertation, il définira les objectifs et les moyens de la gestion la plus adaptée au territoire.

La concertation autour du document d'objectifs devra permettre à la France de désigner des Zones Spéciales de Conservation. Aucune zone ne peut être actuellement considérée comme devant faire partie officiellement de ce

réseau. Toutefois, les inventaires existant ont le mérite d'indiquer les zones où sont connus les espèces et les habitats remarquables au titre de la Directive. Si ces zones n'ont aucune valeur juridique, pour l'instant, elles constituent de précieuses indications sur la qualité des milieux concernés.

4.2.11.4.1.4 - Le cas du Salin du Caban

Le site du Salin du Caban se situe à l'intérieur d'une ZNIEFF⁴ de type I : 1305Z00 « **Salin du Caban et Etang de l'Oiseau** » (cf. **Figure 4.10**). Cette ZNIEFF a été établie pour son intérêt ornithologique que nous détaillerons ci après à partir de la ZICO¹⁵, plus vaste, mais qui englobe la zone d'étude.

Le Salin du Caban est aussi inscrit dans la **ZICO « Marais entre Crau et Grand Rhône : Meyranne, Chanoine, Plan du Bourg et Salin du Caban » (PAC 05)** et à proximité de la **ZICO « Crau » (PAC 03)**.

Il est à noter que la ZICO englobe un secteur bien plus grand que notre zone d'étude. Par conséquent, les espèces mentionnées dans le tableau ne concerne pas toujours le salin du Caban. Dans ce cas, nous le précisons dans la colonne remarque. L'inventaire des espèces d'oiseaux, établi par le CEEP (1990), conduit au classement de la zone en ZICO ; il donne les informations inscrites dans le **Tableau 4.6** :

Espèce	Nombre de couples estimés dans la ZICO	Remarques
Butor étoilé	25	Quelques couples étaient sur l'étang de l'Oiseau
Bihoreau gris	80	Concerne peu notre zone d'étude
Crabier chevelu	30	Concerne peu notre zone d'étude
Héron garde boeufs	130	
Aigrette garzette	100	
Héron pourpré	30- 100	Concerne peu notre zone d'étude
Busard des roseaux	20	Concerne peu notre zone d'étude
Echasse blanche	10	
Avocette élégante	10	
Gravelot à collier interrompu	50	
Sterne naine	30	
Rollier d'Europe	20	Concerne peu notre zone d'étude
Alouette calandre	+ de 10	Uniquement sur le Caban
Lusciniolle à moustaches	+ de 100	Concerne peu notre zone d'étude

¹⁴ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique

¹⁵ Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux

Tableau 4.6 : inventaire des espèces d'oiseaux (CEEP, 1990)

De plus cette ZICO est un site d'importance internationale pour l'hivernage et la migration des oiseaux d'eau (cf. **Tableau 4.7**).

Espèce	Nombre d'individus estimés dans la ZICO	Remarques
Flamant rose	300	
Héron garde boeufs	100	
Aigrette garzette	200	
Grande Aigrette	5- 10	
Sarcelle d'hiver	4500	Le Salin du Caban est un site d'alimentation
Canard souchet	1000	Le Salin du Caban est un site d'alimentation
Canard colvert	3000	Le Salin du Caban est un site d'alimentation
Canard chipeau	500	
Oie cendrée	< 10	
Foulque macroule	7000	
Barge à queue noire	3000- 4000 en migration	

Tableau 4.7 : inventaire des espèces d'oiseaux d'eau (CEEP, 1990)

En ce qui concerne les zones NATURA 2000, liées à la Directive Habitats, le Salin du Caban est en limite sud du site **PR 100 « Crau humide »**, mais n'en fait pas partie (cf. **Figure 4.11**).

En ce qui concerne la loi « Littoral », les Salins du Caban ne sont pas une zone classée espace sensible au titre de la loi L 146- 6.

4.2.11.4.2 - Protection des espèces

La protection des espèces est basée sur des listes d'espèces protégées sur un territoire donné. Il importe de distinguer des philosophies de protection très différentes s'agissant des différents groupes faunistiques et de la flore.

Pour la flore¹⁶, les listes d'espèces protégées, qui indiquent des espèces rares, sont de deux catégories :

¹⁶ La liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national définie par l'Arrêté ministériel du 20 janvier 1982 (publié au J.O. du 13 mai 1982), puis modifiée par l'arrêté du 31 août 1995 (publié au J.O. du 17 octobre 1995). La liste des espèces végétales protégées en Provence-Alpes-Côtes d'Azur définie par l'arrêté ministériel du 9 mai 1994 (publié au J. O. du 26 juillet 1994).

- une liste nationale indiquant les espèces protégées sur l'ensemble du territoire français ;
- des listes régionales ou départementales, complétant la liste nationale dans le territoire de référence.

Si le référentiel géographique diffère entre ces deux types de listes, le niveau de protection conféré est rigoureusement le même. Il est interdit de détruire ou même de déplacer les espèces concernées. La prise en compte de ces espèces est donc de la plus haute importance pour un projet d'aménagement ou d'exploitation du milieu.

Pour la faune, la problématique est très différente selon les groupes :

- pour les insectes et les mollusques, la problématique est assez proche de la flore concernant le choix des espèces de la liste : il s'agit d'espèces considérées comme rares. Toutefois, l'implication réglementaire vis à vis d'un projet d'aménagement est nettement amoindrie du fait des capacités de déplacement des espèces et donc de l'absence constatable de destruction directe (les biotopes ne sont pas protégés par la loi française). Leur présence ne peut que renseigner sur la qualité écologique du site concerné ;
- pour les oiseaux¹⁷, les mammifères, les amphibiens ou les reptiles, les espèces protégées le sont vis à vis de la chasse. On devrait plutôt dire "espèces non chassables" à la place d'espèces protégées. Aucune considération de rareté n'est intervenue dans la définition de la liste. Ces listes ne sont d'aucune utilité lors d'un projet d'aménagement.

¹⁷ Liste des espèces protégées d'oiseaux définie par l'Arrêté ministériel du 17 avril 1981 (publié au J.O. du 19 mai 1981), modifiée plusieurs fois, puis complétée par l'Arrêté ministériel du 5 mars 1999 (publié au J.O. du 7 mars 1999).

Figure 4.10 : « contexte institutionnel et réglementaire »

Figure 4.11 : « Localisation des sites NATURA 2000 »

4.2.11.4.3 - Listes rouges d'espèces menacées

Cette situation nous amène à utiliser d'autres listes de référence pour évaluer la rareté des espèces présentes, et en particulier, **l'inventaire de la faune menacée en France** : Livre rouge des amphibiens, reptiles et oiseaux, listes rouges régionales, voire départementales et des pays limitrophes quand elles existent.

Ces listes répertorient les espèces de groupes d'animaux suffisamment connus (dans leur biologie et leur répartition actuelle et ancienne) selon leur degré de rareté (nombre de stations connues, taille des populations, etc.). Plusieurs statuts sont distingués suivant l'état de précarité des espèces concernées (en danger d'extinction, rare, vulnérable, statut indéterminé, etc.).

Nous indiquons dans le tableau suivant les principaux textes et listes rouges utiles pour l'évaluation patrimoniale des relevés de terrain (**cf. Tableau 4.8**). Les espèces considérées patrimoniales apparaissent en **gras** dans le texte.

	Niveau européen	Niveau national	Niveau régional
Flore		Livre Rouge de la flore menacée de France (Olivier <i>et al.</i> , 1995)	Catalogue des plantes vasculaires des Bouches- du- Rhône (Molinier, 1981)
Oiseaux	Liste des espèces menacées à l'échelle européenne et statut de conservation de tous les Oiseaux d'Europe (Tucker & Heath, 1994).	Les Oiseaux menacés et à surveiller en France. Liste rouge et priorités (Rocamora & Yeatman- Berthelot, 1999)	Liste rouge des oiseaux nicheurs dans la région Provence- Alpes- Côte d'Azur (CEEP, 1992)
Amphibiens	Amphibiens et Reptiles menacés en Europe, R. E. Honegger (1978), Liste des amphibiens et reptiles menacés : Corbett (1989), Statut de rareté européen : extrait de Gasc <i>et al.</i> , (1997)	Liste rouge nationale : Fiers <i>et al.</i> (1997). Responsabilité patrimoniale de la France dans la conservation des espèces : Ministère de l'Environnement (1997) Statut de rareté national : extrait de Castanet & Guyétant (1989). Statut de la faune de France métropolitaine, M.N.H.N. (1997).	Avis d'expert

Tableau 4.8 : principaux textes et listes rouges

4.2.11.5 - Analyse écologique

4.2.11.5.1 - Les habitats et la flore

Sous le terme d'habitat, on désigne l'environnement typique d'une espèce (faune ou flore). L'habitat d'une espèce inclut à la fois la partie non vivante (type de sol, climat,...) et les autres espèces, végétales et animales, qui y vivent (cf. **Figure 4.12**).

4.2.11.5.1.1 - Fourrés halophiles méditerranéens

Cela correspond à ce que l'on appelle localement la sansouire (code CORINE 15.612 ; code Natura 2000 : 1420), c'est à dire une formation de petits buissons épars poussant sur un sol salé et vaseux. Les phytosociologues les rattachent à l'ordre des *Sarcocornietalia fruticosae* Br.-Bl. 1931. Dans ce type de milieu, le nombre d'espèces est très limité. A côté de la Salicorne fruticuleuse (*Sarcocornia fruticosa*), on trouve la Soude (*Suaeda vera*) ou l'Obione (*Halimione portulacoides*).

La sansouire est une formation halophile des milieux côtiers. Son existence est liée à une inondation hivernale significative pouvant atteindre plusieurs mois (entre 5 et 9). La profondeur de l'eau ne peut excéder la taille de la plante, qui ne supporte pas une submersion complète. Peu d'espèces de plantes supportent un taux de sel trop élevé. Ceci explique le faible nombre d'espèces composant ces communautés végétales littorales. La sansouire constitue la formation végétale la plus représentée sur le site, à savoir sur la partie ouest des salins de Caban et les salins du Relai. La partie située au Nord de l'ancienne base de vitesse jusqu'aux environs du contour actuel de l'Etang de l'Oiseau correspond à des remblais ultérieurement envahis par les salicornes.

La forme de sansouire présente sur le site est la sansouire à *Sarcocornia fruticosa*, appelée aussi sansouire fermée à cause de la forte densité qu'atteignent les buissons de *Sarcocornia*.

Figure 4.12 : principales formations végétales et des espèces floristiques remarquables »

4.2.11.5.1.2 - Steppes salées méditerranéennes

Sur les parties un peu moins longtemps inondées, on rencontre une végétation basse un peu plus diversifiée (code CORINE 15.81 ; code Natura 2000 : 1420) où plusieurs espèces de Saladelles ou Lavande de mer (*Limonium*) dont la Saladelle de Girard (*Limonium girardianum*) peut parfois former de belles populations par petites tâches. Ces formations à Saladelles, pouvaient être localement favorisées par des entrées périodiques de la mer. A l'heure actuelle, il n'y a plus de remontée marine ni d'apport d'eau douce si ce n'est par les précipitations (TOUR DU VALAT, 1999a). Cependant, la quantité de sel présente dans le sol est importante. Ces milieux sont plus hauts (de plus de 10 cm) que les fourrés *halophiles* méditerranéens (= *sansouires*). Les remontées salines sont encore non négligeables. L'*association* à laquelle se rattache *Limonium girardianum* est le *Limonietum gerardiano- virgati* Géhu, Biondi, Géhu-Franck et Costa 1992 (GEHU, 1996). C'est une formation camarguaise située aux contacts des dunes et des vases salées qui est considérée comme rare au niveau européen. Ces **steppes ne sont pas toujours typiques** (par rapport à la description établie par le code CORINE et la Directive Habitats), influencées par endroit par la proximité des zones remblayées. Ainsi, elles sont parfois plus ou moins envahies par du Phragmite (*Phragmites australis*).

4.2.11.5.1.3 - Végétation de Phragmite inondé (Roselière)

Elle occupe uniquement la partie actuellement en eau de l'étang de L'Oiseau c'est-à-dire au nord, près de la voie de chemin de fer. Les roselières sont très peu riches en espèces végétales mais elles peuvent servir d'abri à un certain nombre d'espèces d'oiseaux. La présence de cette roselière indique que le milieu est non salé.

Cet habitat, qui est presque relictuel sur la zone d'étude, bénéficie de l'arrivée d'eau douce du Rhône, via le canal du Rhône au port de Fos-sur-Mer.

4.2.11.5.1.4 - Végétation de Phragmite sec

Elle occupe les zones qui ont été remblayées il y a une vingtaine d'années. Le Phragmite commun a donc colonisé ces étendues (code CORINE: 53.112). Cet habitat est souvent envahi par les saladelles. On a donc affaire à un milieu qui n'est pas typique et qui présente des caractéristiques des milieux adjacents, reflet de ce qui devait être présent avant les remblais. Les espèces rudérales, c'est-à-dire des bords de chemins, sont également assez fréquentes. On trouve ainsi le Sénéçon commun (*Senecio vulgaris*) ou la Pâquerette commune (*Bellis perennis*).

La perturbation liée aux remblais antérieurs provoque une certaine hétérogénéité dans la végétation, certaines zones étant codominées par le Scirpe romain (*Scirpoides romanus*) et le Phragmite (*Phragmites australis*).

4.2.11.5.1.5 - Les bords de chemin et friches : communautés ruderales

Sur les bords de chemin et les remblais les plus hauts, la flore est plus rudérale (code CORINE : 87.2). Le Tamaris (*Tamarix gallica*) borde parfois les chemins ou les anciennes salines. C'est un des arbres les plus fréquents de la Camargue et ses parties annexes (Petite Camargue et Plan du Bourg). Il s'étend jusque dans les marais de Fos-sur-Mer (BERNER, 1967). On le retrouve depuis les dunes littorales jusqu'au Nord du delta. Sur le site, il se rencontre de manière éparse le long des chemins ou autour des anciennes salines.

Les remblais les plus élevés s'apparentent à des *friches*. On trouve en effet un recouvrement élevé par des espèces annuelles. L'Inule visqueuse (*Dittrichia viscosa*), espèce vivace, commence cependant à s'implanter et l'on pourrait peut-être tendre à moyen terme vers une garrigue à Inule visqueuse.

4.2.11.5.1.6 - Groupements marins à Ruppies

Cet habitat (code CORINE 11.41) correspond à des groupements végétaux immergés ou légèrement émergés des eaux saumâtres ouvertes. On les rencontre sur les sols limoneux ou sableux dans les marais littoraux, îlots ou estuaires. Il est présent sur l'étang du Caban (TOUR DU VALAT, 1999a) mais sa localisation précise n'a pu être faite pour des problèmes de temps, d'époque de prospection et d'accessibilité. Il est dominé par *Ruppia maritima* ou *Ruppia cirrhosa*, les deux espèces pouvant également cohabiter. Ces espèces peuvent accomplir leur cycle en phase aquatique contrairement à beaucoup d'espèces dont l'habitat se dessèche en été (MOLINA, 1996).

4.2.11.5.2 - La faune

4.2.11.5.2.1 - Les oiseaux

Dans un souci de clarté pour le lecteur, nous avons traité l'avifaune en fonction des différentes phases d'occupation du site par les oiseaux (nicheurs, hivernants, migrants). Ceci correspond aussi à une réalité biologique et chaque période possède une importance différente qu'il conviendra d'analyser séparément.

4.2.11.5.2.1.1 - Les espèces nicheuses

Elles sont constituées par des oiseaux sédentaires (qui vivent toute l'année sur le site) et par des oiseaux migrateurs, hivernants plus au sud en Espagne ou en Afrique et qui viennent nicher sous nos latitudes. Ces dernières espèces arrivent aux environs du mois de mars pour les plus précoces et début mai pour les plus tardives.

4..11.5.2.1.2 - Le cortège des friches et des sansouires

Nous avons regroupé ces deux habitats puisque la structure de la végétation qui y pousse est assez similaire. Ainsi on retrouve les mêmes espèces d'oiseaux.

Ce cortège est essentiellement composé de passereaux plus ou moins communs dans la région. Parmi les plus banals citons la Linotte mélodieuse, le Chardonneret élégant et la Bergeronnette printanière. Dans les zones buissonnantes on trouve 3 fauvettes typiquement méditerranéennes :

- la Fauvette pitchou,
- mélanocéphale,
- et enfin la plus rare mais la plus représentative des sansouires la **Fauvette à lunettes** (au moins 25 couples en 1999).

C'est cependant dans les zones dénudées ou avec une végétation très rase que l'on trouvera les espèces les plus intéressantes :

- **Alouette calandrelle**,
- Cochevis huppé, **Pipit rousseline**,
- **Oedicnème criard** (8 couples en 1999),
- et surtout l'**Alouette calandre**. La population de cette dernière espèce était estimée entre 10 et 15 couples en 1993, mais actuellement seul 1 couple semble subsister (TOUR DU VALAT, 1999a).

Les populations de ces oiseaux sont en nette diminution sur le site suite à l'envahissement des remblais par la végétation. A terme, les remblais ne conviendront plus à ces espèces puisque le recouvrement et la hauteur de la végétation seront trop importants.

4..11.5.2.1.3 - Le cortège des zones humides

Le Salin du Caban, à l'époque où celui-ci était encore exploité offrait des possibilités de nidification assez importantes pour les Laro-limicoles (**cf. Tableau 4.9**).

Toutes ces données sont issues des inventaires réalisées par la TOUR DU VALAT entre 1962 et 2000. Aujourd'hui, le potentiel de nidification est encore fort, mais **aucune espèce de laro-limicoles coloniaux (Sternes, Mouettes, Avocette) ne niche sur les salins depuis 1989**, car ils sont souvent à sec durant la saison de reproduction (**cf. Tableau 4.9**).

Espèces	Effectif max. avant 1988	Effectif actuel
Avocette élégante	80 couples	Quelques oiseaux présents
Chevalier gambette	4 couples	0 couples
Echasse blanche	40 couples	Quelques oiseaux présents
Gravelot à collier interrompu	35 couples	1 à 2 couples
Mouette rieuse	1280 couples	0 couples
Sterne naine	41 couples	0 couples
Sterne pierregarin	83 couples	0 couples

Tableau 4.9 : inventaire des espèces Laro- limicoles

Les données ci-dessus ne sont donc plus d'actualité, mais pourraient le redevenir avec une gestion appropriée de l'hydraulique du site. Seuls subsistent quelques couples de Gravelot à collier interrompu sur le Caban (1 à 2 couples en 1999).

4..11.5.2.1.4 - Les espèces hivernantes

Elles sont constituées par des espèces nordiques venues passer la mauvaise saison dans le sud de l'Europe. On trouve aussi les espèces sédentaires.

On y trouve le cortège classique de petits passereaux granivores qui se regroupent en bandes pour se nourrir dans les espaces ouverts et les *friches* : Pinson des arbres, Chardonneret élégant, Linotte mélodieuse, Serin cini. Le Pipit farlouse est omniprésent dans les *friches* alors que son cousin le Pipit spioncelle est commun sur les bordures des vasières.

Les deux fauvettes méditerranéennes sédentaires, la **Fauvette pitchou** et mélanocéphale sont bien représentées et même abondante pour la première. La **Fauvette à lunettes** est aussi notée à l'occasion mais semble beaucoup plus discrète et rare. En effet, de nombreux individus partent hiverner plus au Sud.

En ce qui concerne les rapaces, notons la présence du Busard des roseaux venant chasser sur les remblais et du rare **Hibou des marais** dont le Caban est un secteur d'hivernage connu depuis les années 1970. Ce site est en marge de son aire d'hivernage classique.

Les oiseaux les plus intéressants sont les oiseaux d'eau. Malgré un assèchement total en été, les salins se remplissent en hiver à l'occasion des grosses pluies d'automne. Ainsi, voici les effectifs de quelques espèces intéressantes (cf. **Tableau 4.10**) notées sur le Salin du Caban entre 1969 et nos jours (données TOUR DU VALAT* et Biotope).

Espèces	Effectif max.
Flamant rose *	1300 ind.
Tadorne de Belon	400 ind.
Avocette élégante	100 ind.
Sarcelle d'hiver	30 ind.
Bécasseau variable	20 ind.
Bécasseau minute	10 ind.
Courlis cendré	Quelques ind.
Grande Aigrette	Quelques ind.
Grèbe à cou noir	7 ind.

Tableau 4.10 : espèces relevées sur le salin du Caban

Cet hiver extrêmement pluvieux aura favorisé le stationnement de nombreux oiseaux d'eau démontrant le réel potentiel d'accueil des Salins du Caban pour ces espèces.

4..11.5.2.1.5 - Les espèces de passage

Ce paragraphe regroupe les oiseaux migrateurs qui exploitent le site lors de leurs haltes migratoires (au printemps et à l'automne). En effet, la zone d'étude est située sur l'un des axes principaux de migration des oiseaux en France : le couloir rhodanien. Cette situation particulière a permis l'observation de nombreux migrateurs et démontrent par là l'importance des zones humides pour l'alimentation et le repos des espèces migratrices.

Cependant, les dates de nos prospections ne nous ont pas permis de recenser les espèces migratrices en halte sur le site. Mais le site est connu pour abriter quelques centaines de limicoles au passage comme les Barges à queue noire, Chevaliers gambettes, Bécasseaux de différentes espèces.

De nombreux passereaux migrateurs fréquentent le site comme le Pouillot fitis, le Rougequeue à front blanc, le Guêpier d'Europe.

L'importance de la zone d'étude pour les migrateurs reste tout de même modeste par rapport à celle de la Camargue et des marais du Vigueirat.

4.2.11.5.2.2 - Les autres groupes faunistiques

4..11.5.2.2.1 - Les amphibiens

Les milieux saumâtres et de surcroît perturbés sont peu utilisés par les amphibiens excepté par deux espèces intéressantes inféodées entre autres aux milieux littoraux sableux : le **Pélobate cultripède** (*Pelobates cultripipes*) et le Crapaud calamite (*Bufo calamita*). Peu de mentions viennent étayer la présence de ces deux amphibiens sur le site. On connaît la présence du Crapaud calamite par l'observation de pontes sur l'ancienne base de vitesse et par de nombreux adultes en chasse nocturne à l'automne (Beck, *com. pers.*) ou traversant la RN 268. Quant au Pélobate cultripède, quelques adultes ont été mentionnés sur les remblais à l'est de l'étang du Caban et des pontes ont été notées près du Carrefour du Relai (TOUR DU VALAT, 1999 a). De nombreux têtards sont présents aussi sur l'ancienne base de vitesse où l'espèce a pondu de nouveau ce printemps (Biotope, *obs. pers.*).

Notons aussi la présence du Pélodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*) sur la zone d'étude (BECK, *com. pers.*) dont nous n'avons aucune précision quant à la localisation et l'état de la population.

4..11.5.2.2.2 - Les crustacés

Nous avons intégré ce groupe fort peu étudié puisqu'il est mentionné dans la bibliographie la présence d'une espèce, extrêmement rare, sur l'étang du Caban : **Branchinella spinosa** (TOUR DU VALAT, 1999 a). Cette espèce n'est connue qu'en 2 stations en France et est inféodée aux salins et milieux lagunaires.

Nous ne possédons pas d'autres données d'autres espèces sur la zone d'étude. Mais celle-ci semble la plus importante.

4..11.5.2.2.3 - Les poissons

Les salins du Caban n'étant plus connectés avec les milieux aquatiques extérieures, et étant totalement asséché en été, la faune piscicole est inexistante.

4..11.5.2.2.4 - Les mammifères

Aucun mammifère n'a été observé lors des missions de terrain. La Tour du Valat (1999) cite « 23 espèces de mammifères on été contactées sur les terrains du Port Autonome. [...]. Au moins 22 espèces sont donc

présentes actuellement, dont 3 protégées sur l'ensemble du territoire national : le hérisson d'Europe, la musaraigne aquatique et l'écureuil roux. Le ragondin est abondant dans les marais doux ».

4.2.11.6 - Bioévaluation du site

4.2.11.6.1 - Les habitats et la flore

Le groupement à Saladelle ou la steppe méditerranéenne salée est ici l'habitat le plus remarquable du site (cf. **Figure 4.12**). On y trouve notamment une **espèce protégée au niveau national**, la **Saladelle de Girard** (*Limonium girardianum*). Cette espèce, bien que protégée est assez courante en Camargue.

Le **groupement à Saladelle** constitue un habitat prioritaire (15.81) sur la Directive Habitats. On notera cependant que les parties les plus distantes des plans d'eau sont plutôt dégradées et **ne sont pas les plus représentatives** de cet habitat. En effet, cette végétation s'est mise en place sur d'anciens remblais.

On trouve par ailleurs d'autres habitats non prioritaires mais inscrits à l'Annexe I de la Directive Habitats.

Dans les milieux les plus halophiles, on trouve un habitat remarquable : les fourrés halophiles méditerranéens et thermo-atlantiques représentés par le groupement à *Sarcocornia fruticosa* (15.612).

La présence de quelques pieds de **Genévrier de Phénicie** (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*) sur les salins du Relai est intéressante car c'est une espèce qui n'est pas très commune sur le pourtour méditerranéen et qui, de plus, se trouve plutôt dans les dunes. L'habitat correspondant est d'une valeur patrimoniale telle, qu'il est classé en habitat prioritaire dans la Directive Habitats (16.272). Cependant, la localisation très limitée de l'espèce ne permet pas de dire que l'habitat correspondant est présent.

Ci-après est présenté un **Tableau 4.11** récapitulatif des habitats présentant une forte valeur patrimoniale.

Habitat	Code NATURA 2000	Code CORINE	Étendue	Niveau d'intérêt
Steppes à saladelles	1510	15.81	Assez importante	Prioritaire
Fourrés <u>halophiles</u> méditerranéens et thermo-atlantiques	1420	15.6	Importante	Non prioritaire

Tableau 4.11 : récapitulatif des habitats remarquables

Figure 4.13 : « faune remarquable »

4.2.11.6.2 - L'avifaune

La liste des espèces observées sur l'aire d'étude par BIOTOPE et la Tour du Valat est récapitulée en **Annexe 4.8**.

4.2.11.6.2.1 - Les espèces nicheuses

Comme a priori, le salin du Caban n'a plus pour vocation la production de sel et que par conséquent le système hydraulique ne sera vraisemblablement pas remis en état, nous ne prendrons pas en compte dans la bioévaluation du site, les données anciennes de nidification des laro- limicoles. Nous nous baserons sur l'intérêt ornithologique tel qu'il est actuellement. Ce sont les espèces liées à la steppe qui sont actuellement les plus patrimoniales sur le site (**cf. Tableau 4.12**).

Espèces	Statut	Directive Oiseaux	Statut de conservation en Europe	Liste rouge nationale
Alouette calandre	NE, H	•	ED	E
Alouette calandrelle	NE	•	V	AS
Fauvette à lunettes	S, NE		ND	V
Oedicnème criard	NE	•	V	ED
Pipit rousseline	NE	•	V	AS

Légendes : S : sédentaire(niche et hiverne) NE : visiteur d'été (nicheur) E : en danger AS : à surveiller R : rare ED : en déclin
V : vulnérable D : défavorable ND : non défavorable

Tableau 4.12 : espèces nicheuses patrimoniales de l'aire d'étude

Notons aussi la présence de 1 à 2 couples de **Gravelot à collier interrompu** dont les effectifs actuellement ne sont pas suffisants ni même assez réguliers pour être remarquables.

4.2.11.6.2.2 - Espèces à très forte valeur patrimoniale

La présence de l'**Alouette calandre** (*Melanocorypha calandra*) est sans aucun doute le fait le plus marquant (**cf. Figure 4.13**). Exclusivement méditerranéenne, cette espèce est en fort déclin et pratiquement menacée d'extinction en France où il reste au maximum 50 couples, la plupart située en Crau. Elle est inscrit à l'annexe I de la Directive oiseaux et « En danger » sur la liste rouge nationale.

4.2.11.6.2.3 - Espèces à forte valeur patrimoniale

Nous placerons dans cette catégorie les autres espèces liées à la steppe. Les espèces suivantes ne sont pas exclusivement méditerranéennes, mais c'est dans cette région que les populations sont les plus importantes :

- L'**Alouette calandrelle**, bien que classée « A surveiller » en France est en fait de plus en plus rare. Le bastion de l'espèce se situe en Crau et dans le Languedoc-Roussillon. Elle est inscrite à l'annexe I de la Directive Oiseaux et est « Vulnérable » en Europe.
- Le **Pipit rousseline** est abondant dans nos garrigues dégradées, qui est son habitat de prédilection. On le trouve secondairement dans les friches et steppes salées. Bien représenté dans le sud de la France, il est tout de même inscrit en annexe I de la Directive oiseaux et il est considéré comme « vulnérable » en Europe.
- L'**Oedicnème criard** est une espèce typique des steppes et des milieux secs. Une grosse population existe en Crau et ses alentours. Largement répandue en France, il est en déclin sur toute son aire et est inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux.
- La **Fauvette à lunettes** est en limite nord de répartition en France. Peu abondante (entre 250 et 1000 couples), elle est typique des sansouires et des garrigues dégradées du Sud de la France. C'est donc une espèce originale pour l'avifaune française. Considérée comme « vulnérable » en France, son statut de conservation en Europe n'est pas défavorable. Cependant la population de la ZAC du Caban, estimée entre 25 et 50 couples, est une des populations les plus importantes de France.

4.2.11.6.2.4 - Les espèces hivernantes

En hiver, les espèces patrimoniales du site changent totalement puisque les espèces nicheuses des steppes ne sont plus présentes en hiver. Par contre les salins se remplissent en eau et deviennent attractifs pour les oiseaux d'eau. Nous n'avons sélectionné en espèces patrimoniales que **les espèces ayant des effectifs d'importance au minimum régionale** sur le site (cf. **Tableau 4.13**).

Espèces	Statut	Directive Oiseaux	Statut de conservation en Europe	Liste rouge nationale
Avocette élégante	H	•	L	AS
Flamant rose	H	•	ne	ne
Tadorne de Belon	H			

Légendes : H : hivernant évalué L : localisé AS : à surveiller ne : non

Tableau 4.13 : espèces hivernantes patrimoniales de l'aire d'étude

Le Flamant rose et le Tadorne de Belon atteignent des seuils d'importance nationale à internationale sur le site. Ce ne sont cependant pas des oiseaux menacés car leurs statuts de conservation sont plutôt favorables.

Les effectifs de l'Avocette élégante sont assez fluctuants selon les années. Globalement le salin du Caban abrite 1/6 de la population hivernante en Camargue, ce qui est assez important.

Notons aussi la présence du **Hibou des marais**, inscrit en Directive oiseaux et dont les hivernants sont considérés comme « vulnérables » sur la liste rouge nationale. Cependant, ce site d'hivernage étant en marge de son aire habituelle, on ne peut pas attribuer un caractère remarquable ou patrimoniale à cette espèce sur notre zone d'étude. Il est néanmoins intéressant de le citer.

4.2.11.6.3 - Les autres groupes faunistiques

4.2.11.6.3.1 - Les batraciens

Deux espèces seulement ont été contactées. Le Crapaud calamite inscrit en Annexe IV de la Directive Habitats. Cette espèce est commune dans le Sud de la France et ne présente pas beaucoup d'intérêt sur place. En revanche, le **Pélobate cultripède**, inscrit lui aussi à l'annexe IV de la Directive Habitats est une espèce de forte valeur patrimoniale, puisqu'elle est typique des milieux dunaires méditerranéens. Elle est considérée comme « vulnérable » en France.

Précisons que toutes les espèces de batraciens sont protégées par la loi sur tout le territoire français.

4.2.11.6.3.2 - Les crustacés

Les Salins du Caban abritent **Branchinella spinosa**, un crustacé très rare, connu qu'en trois stations en France. Si ce groupe est peu étudié, le faible nombre de stations de cette espèce semble réel puisque l'espèce n'a pas été trouvée en Grande Camargue. Il semble que ce crustacé phyllopode disparaisse d'un peu partout.

4.2.11.6.4 - Sensibilité écologique relative du site

Préambule : Le site d'étude est entouré de nombreuses zones d'intérêt environnemental majeur (le Tonkin, le Ventillon, la Gracieuse et le Landre) et d'autres zones montrent une importance particulière (le Radeau, la Feuillane, les Pointes) (Tour du Valat, 1999).

C'est dans ce contexte général favorable, avec des sites de grandes valeurs faunistique et floristique que la sensibilité du site aurait pu être appréciée. Dans notre étude, nous avons seulement considéré la

bioévaluation réalisée sur le site pour apprécier la sensibilité environnementale.

A partir de la bioévaluation floristique et faunistique, on peut établir une carte de la sensibilité écologique du site (cf. Figure 4.14).

De cette carte, il se dégage deux zones :

- une zone centrale de sensibilité forte correspondant à l'étang du Caban lorsqu'il est en eau et aux anciens remblais situés juste à l'Ouest qui abrite les oiseaux de steppes et 2 habitats remarquables.
- Une zone de part et d'autre de l'étang du Caban constitué par le salin du Relai à l'Est et par des anciens remblais végétalisés à l'Ouest de moindre importance écologique (cf. Tableau 14). Cependant, à l'Ouest de l'étang du Caban, il existe une contrainte majeure : la présence d'une plante protégée.

Cette carte sera précieuse pour déterminer les zones où l'on pourra mettre en remblais les matériaux avec un moindre coût pour l'environnement.

Secteur	Enjeux patrimoniaux et contraintes	Sensibilité écologique relative
Salin du Relai	<ul style="list-style-type: none"> - 1 habitat remarquable (<i>Sansouire</i>) - 1 plante remarquable (Genévrier de Phénicie) 	Faible étant donné la faible représentativité de l'habitat remarquable par rapport à la Camargue
Salin et étang du Caban	<ul style="list-style-type: none"> - Nombreux oiseaux patrimoniaux (Flamants, Tadorne, Avocettes) - 1 crustacé très rare - 1 habitat remarquable (Herbiers à <i>Ruppia</i>) 	Forte
Remblais du Caban et de l'Oiseau	<ul style="list-style-type: none"> - 2 habitats remarquables (Steppes à saladelles et <i>sansouire</i>) - Nombreux oiseaux patrimoniaux - 2 amphibiens patrimoniaux - 1 plante protégée au niveau national 	Moyenne étant donné que les habitats ne sont pas typiques et que les oiseaux désertent le site à cause de l'augmentation de la végétation.
Enfores	<ul style="list-style-type: none"> - 1 habitat remarquable (Steppes à saladelles) 	Forte car habitat vraiment naturel
Etang de l'Oiseau	<ul style="list-style-type: none"> - 1 habitat remarquable (Roselière) - 1 plante protégée au niveau national 	Forte car habitat naturel

Tableau 4.14 : sensibilité écologique relative du site

Figure 4.14 : carte de sensibilité écologique du site

4.2.12 - Usages et activités

4.2.12.1 - Activités industrialo- portuaires

Cet ensemble industriel et portuaire a été créé en 1966 et s'étend sur plus de 10 000 ha. Actuellement, le Port Autonome de Marseille (PAM) en est le propriétaire, le gestionnaire et l'aménageur. Les bassins Ouest du PAM se compose de quatre darses : la darse Sud et les darses 1, 2 et 3, accueillant chacune des terminaux spécifiques : terminaux conteneurs, pétroliers, minéraliers, polyvalents et pétrochimiques.

4.2.12.1.1 - Trafic maritime

Les activités dans le Golfe de Fos sont essentiellement tournées vers celles du complexe industrialo- portuaire. Les infrastructures portuaires des bassins Ouest sont composées des Terminaux marchandises suivants :

- terminaux minéraliers au môle Central de Fos, en darse 1 et dans le canal de Caronte ;
- quais polyvalents (céréales, voitures) à la plate-forme des Tellines et au bassin Gloria.
- terminaux conteneurs au môle Graveleau de Fos, en darse 2 (cf. photographie ci- après) ;



Les activités et usages de la darse 2 sont donc liés au trafic de marchandises (terminal à conteneurs et zone DISTRIPOORT) et au trafic de matières chimiques (LYONDELL CHIMIE FRANCE et ELF ATOCHEM [ATO FINA]).

4.2.12.1.1.1 - Caractéristiques du Terminal à Conteneurs

Le quai du terminal à conteneurs, long de 1 177 m, offre cinq postes à quai actuellement avec un tirant d'eau admissible de 13 m. La surface de son terre-plein est de 48 ha où 31 ha sont réservés au stockage ; avec 9 601 emplacements au sol, ceci correspond donc à un taux de 310 EVP/ha.

4.2.12.1.1.2 - Caractéristiques du trafic maritime à Fos¹⁸

Au début des années 80, le terminal de Fos accueillait 60 lignes maritimes et desservait 127 ports dans le monde entier tandis qu'à la fin 1999, on compte 182 lignes au départ de Fos qui desservent plus de 300 ports dans le monde en escales directes ou par transbordements. En 1999, la taille moyenne des escales était de 287 mouvements. En 2000, elle était de 307 mouvements soit une progression de 7%.

Pour les marchandises générales, et toutes zones confondues, le port de Marseille assure 15% du Commerce Extérieur Maritime Français : cette part est en nette stabilisation depuis 1997.

Par ailleurs, la spécialisation géographique du terminal s'est accentuée avec la croissance de la conteneurisation des marchandises. Progressivement, les liaisons avec l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Océan Indien et l'Océanie se sont déplacées à Fos.

De plus, Fos assurait 55,4% du trafic contre 44,6% pour les Bassins Est (Marseille) en 1999. Entre 1980 et 1999, le trafic en tonnage progressait de 143% à Fos contre 100% à Marseille (**cf. Tableau 4.15**). Aussi, le trafic conteneurisé dans le bassin de Fos a été représenté par le transit de 411 541 EVP pour l'année 2000, sachant que le niveau de saturation actuel de la capacité totale (échanges, stockage, transbordement) varie entre 550 000 et 600 000 EVP.

	Bassins Ouest	Bassins Est	Total
1970	21	-	21
1975	694	307	1 001
1980	1 495	1 412	2 907
1985	2 815	1 614	4 429

(suite)

¹⁸ Source : Port Autonome de Marseille

	Bassins Ouest	Bassins Est	Total
1990	3 376	1 996	5 372
1990	3 376	1 996	5 372
1995	2 938	2 313	5 251
1999	3 633	2 929	6 562

Tableau 4.15 : trafic conteneurs de Marseille/Fos de 1970 à 1999 (en milliers de Tonnes)¹⁹

La taille des porte-conteneurs escalant à Fos est en augmentation (cf. **Tableau 4.16**). Il existe une nette diminution de la proportion des navires inférieurs à 2000 EVP (elle passe de 70% à 40%). En revanche la proportion de navires de grande capacité (supérieure à 3 500 EVP) devient significative dans la mesure où elle passe de 1% en 1995 à 10% en 1999. Le terminal de Fos a d'ailleurs accueilli son premier POSTPANAMAX (plus de 4 500 EVP de capacité) en 2000.

<u>EVP</u>	1995	1999
0 à 500	16%	11%
500 à 1000	10%	9%
1000 à 1500	24%	8%
1500 à 2000	20%	12%
2000 à 2500	6%	11%
2500 à 3000	21%	19%
3000 à 3500	1%	21%
3500 à 4000	1%	8%
4000 à 4500	0%	2%
Total	100%	100%

Tableau 4.16 : évolution de la taille des navires porte- conteneurs entre 1995 et 1999 à Fos²⁰

Trois échelles différentes sont considérées pour les mouvements de navire sur Fos durant l'année 2000, dans le **Tableau 4.17** :

l'ensemble des bassins Ouest,

la darse 2,

¹⁹ Source : statistiques Port Autonome de Marseille

²⁰ Source : statistiques Port Autonome de Marseille

le terminal à conteneurs.

Bassins Ouest	Total annuel 2000	Trafic mensuel			Trafic journalier		
		Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum
Accostage	8 156	679,66	608	725	22,35	41	10
Mouvements	16 312	1359,3	1216	1450			

Darse 2**							
Accostage	1 220	101,66	119	86	3,34	6	1
Mouvements	2 440	203,33	238	172			

Terminal à conteneurs							
Accostage	997	83,08	96	73	2,73	6	0
Mouvements	1 994	166,16	192	146			

*Approximation du nombre de mouvement en multipliant le nombre d'accostages par 2.

**le trafic en darse 2 comprend le trafic conteneurs et celui des postes ATO FINA et LYONDELL

Tableau 4. 17 : trafic maritime pour l'année 2000

Une faible part des mouvements dans les bassins Ouest provient de la darse 2 (15%).

Une grande part des mouvements en darse 2 provient de l'activité conteneurs (82%).

Les mouvements des navires dans le chenal d'accès et la darse 2 sont rendus difficiles, du fait de leurs orientations (chenal d'accès : 97/277° et darse 2 : 130/310°), lors de conditions météorologiques de forts vents dominants (Mistral et Marin). Les vents traversiers affectent le navire en provoquant une dérive latérale et une légère *gîte*, rendant difficiles les accès aux quais et les manœuvres d'évitage en darse 2.

4.2.12.2 - Pêche et élevage

La production conchylicole de l'Anse de Carteau s'organise selon 2 types d'activités : la récolte sur les gisements naturels et la mytiliculture.

4.2.12.2.1 - Gisements naturels

L'anse recèle des huîtres plates, des moules naturelles (en quantité réduite), des clovisses et palourdes (aussi en quantité réduite), des murex, des praires, des oursins, des couteaux et des tellines en faible quantité²¹. Certaines de ces espèces, présentes naturellement dans le Golfe de Fos, sont cependant considérées comme en péril, du fait sans doute d'une forte exploitation.

Selon IFREMER, les statistiques officielles des tonnages ne sont pas représentatives et de plus, elles sont soumises à des fluctuations inexplicables. De ce fait, les tonnages sont difficilement appréciables. Ils sont cependant présentés dans le **Tableau 4.18**.

On remarque cependant une tendance à la décroissance de cette ressource conchylicole sur ces dernières années. Cela met en évidence l'impact des actions anthropiques sur cette ressource (prélèvements trop importants, modification du milieu naturel, etc.).

	1995	1996	1997
Murex	27	1	0,1
Huîtres	22	15	17
Palourdes	36	6	4,6

Tableau 4.18 : quantités d'espèces naturellement présentes dans le Golfe de Fos (en Tonnes)

4.2.12.2.2 - Cultures marines

Localisation et types d'élevage

Sur l'ensemble du quartier maritime de Martigues et dans la zone d'étude, deux types d'élevage sont essentiellement présents :

- la mytiliculture : élevage de moules (*Mytilus Galloprovincialis*) sur tables. Cet élevage est développé dans l'Anse de Carteau et est situé en zone portuaire ;
- l'ostréculture : élevage non exploité actuellement dans le Golfe de Beauduc.

²¹ Inventaire produit par l'IFREMER pour l'OREAM en 1978

Mytiliculture

Pratiquée dans l'Ouest du Golfe de Fos, les parcs à moules se situent dans l'Anse de Carteau, plus exactement au Sud-Est de l'accès du port de Carteau.

En raison de la proximité de la darse 2 et de son chenal d'accès, mais également de la superficie des élevages 107 hectares pour 104 tables (cf. monographie des pêches, Affaires maritimes, 1991), du nombre de personnes y travaillant directement (autour de 80 personnes composées de patrons et de matelots) ; cette culture est la plus susceptible d'être impactée par les travaux de dragage. En effet, les parcs à moules sont situés à environ 3,5 km de la darse 2, à 2,5 km du chenal d'accès à la darse 2 et à 3 km du chenal d'accès aux bassins Ouest.

Classement des zones de production

Globalement, l'intérieur de l'Anse de Carteau est classé **B** (purification obligatoire avant la consommation) et la partie externe de l'anse dans le Golfe de Fos est classée **D** (source : IFREMER-Toulon).

Une zone de production classée en **B** (décret n°94- 340 du 28 avril 1994) est une zone dans laquelle les coquillages peuvent être récoltés mais ne peuvent être mis sur le marché pour la consommation humaine directe qu'après avoir subi, pendant un temps suffisant, soit un traitement dans un centre de purification, associé ou non à un reparcage, soit un reparcage.

Une zone classée en **D** est une zone dans laquelle les coquillages ne peuvent être récoltés ni pour la consommation humaine directe, ni pour le reparcage, ni pour la purification.

Production (source : Direction Départementale des Affaires Maritimes des Bouches- du- Rhône et revue « le Marin »)

En 1991, la production totale s'élevait à 1 359 Tonnes de moules pour une valeur de 8 100 000 FF (1 234 831,3 Euros).

En 1999, la production totale s'élevait à 2 100 Tonnes de coquillages (95% de moules, soit 1 995 T) pour une valeur de 11 000 000 FF (1 676 939,19 Euros).

En 2000, la production annuelle de moules s'élève à 2 500 Tonnes. Sur le gisement de Fos, la production affichée de palourdes est de 30 T/an et d'huîtres plates est de 2 T/an.

Réglementation

Il existe trois arrêtés principaux réglementant les activités liées à la conchyliculture :

- **l'arrêté préfectoral du 29 juin 2000** porte classement de salubrité ;
- **l'arrêté modifié du 31 octobre 1984** (DRAM Marseille) sur l'exploitation des gisements d'huîtres ;

- **l'arrêté du 18 février 1977** (DRAM Marseille) sur l'exploitation du gisement de palourdes.

Une convention datant des années 1980 (29 octobre 1984) relative à la pêche et au prélèvement de coquillages dans les darses des bassins Ouest existe. Depuis l'existence d'un nouveau cadre juridique (décret du 25 janvier 1990 et arrêté du 13 mars 1997 fixant la taille du naissain de moule à 1 cm en zone D [cas des darses, arrêté préfectoral du 29 juin 2000]) réglementant cette activité, aucun arrêté préfectoral le prenant en compte n'a été promulgué. En conséquence, cette convention n'a plus de valeur juridique.

4.2.12.2.3 - Pêche professionnelle

L'analyse des données est effectuée d'après les informations communiquées par les affaires maritimes, des études et enquêtes et des articles de presse. Ces informations pour certaines statistiques sont imprécises du fait d'une estimation de quelques unes.

Les activités de pêche dans le Golfe de Fos et sur le plateau sous-marin du Delta du Rhône

Quatre groupes principaux sont distingués (cf. étude de Bolopion et collaborateurs, janvier 2000) : les chalutiers, les lamparos, les thoniers et les petits métiers, auxquels il faut ajouter des activités diverses, comme les pratiques de ganguis, de la senne au poisson de fond, de la drague à coquillage ou de la pêche en plongée (ramassage du corail rouge, des oursins et des violets).

- **Les chalutiers** sont de deux types :

les trois quarts pratiquent le chalutage de fond et capturent des espèces diverses (merlus, rougets, grondins, baudroies, raies ...) sur le plateau continental entre environ 10 et 150 mètres de profondeur, au cours de sorties de 12 à 15 heures ;

le quart restant a une activité mixte de chalutage de fond / chalutage pélagique. Les espèces recherchées sont principalement la sardine et l'anchois toujours sur le plateau continental.

- **les lamparos** recherchent également le poisson bleu de nuit à l'aide d'une senne et d'un dispositif lumineux ;
- **les thoniers** exploitent à la senne le thon rouge au large et n'interfèrent pas, sauf exception, avec les activités de pêche dans la bande côtière ;
- **les petits métiers** désignent l'ensemble des modes de pêche autres que la pêche au chalut, à la senne, au gangui et à la drague. Le filet est le principal engin utilisé mais d'autres moyens de captures sont utilisés. Une cinquantaine de métiers est recensée dans le Golfe du Lion. Des métiers sont réapparus depuis quelques années : la thonaille (filet pour la pêche

aux thons), les filets tournants coulissants (mulets, dorades royales, sardines, anchois). Près de 60% des activités s'exercent entre 0 et 20 mètres. Certains navires travaillent sur des fonds supérieurs à 100 mètres (capture du merlu au filet maillant). Les principales espèces capturées sont les poissons entrant dans la composition de la bouillabaisse et de la soupe (petits poissons de roche et de chalut) ainsi que les rougets et merlus.

Les ganguis sont des filets en forme de poche remorqués par un navire et destinés à la pêche des poissons, crevettes, oursins et violets.

Situation de la pêche en région PACA pour l'année 1999 (cf. journal "LE MARIN" du 17 novembre 2000)

Les données officielles de production de la pêche sont estimées à 8 500 Tonnes pour une valeur de 100 000 000 FF (15 244 901,72 Euros).

Les élevages marins produisent environ 2 100 Tonnes de coquillages marins (moules à 95%) pour une valeur de 11 000 000 FF (1 676 939,19 Euros).

Les élevages de poissons produisent 110 Tonnes (loup, dorade, maigre) pour une valeur de 53 000 000 FF (8 079 797,91 Euros).

Situation de la pêche en Méditerranée d'après les apports en criées

Dans le **Tableau 4.19**, 20 601 T sont débarquées dans les ports du Golfe du Lion contre 4 933 T dans les ports du Golfe de Fos, soit 24%. Sur ces 4 933 T d'espèces déclarées, 41 T de soles sont potentiellement pêchées au chalut de fond sur le plateau sous-marin au large du Golfe de Fos, soit 4,5% de la valeur débarquée pour l'année.

Il semble donc que la part débarquée en criée des espèces de fond, pêchées au large du Golfe de Fos, représente une part très minoritaire en comparaison des tonnages débarqués dans les ports du Golfe du Lion. Notons cependant la valeur économique forte (en criée) des poissons plats (sole de 50 à 70 F/kg) et du loup ou bar (70 à 85 F/kg) en comparaison des autres espèces : sardine et anchois (5 à 10 F/kg), merlus (25 à 35 F/kg), poulpe (10 à 20 F/kg).

	Ports du Golfe du Lion						Ports du Golfe de Fos		
	Port-Vendres	Port-la-Nouvelle	Agde	Sète	Grau-du-Roi	Gruissan	Port-de-Bouc	Port-St-Louis	Martigues
Apports 1999 (T)	686	3 510	850	9 005	3 735	NC	4 500	NC	NC
Apports 2000 (T)	801	4 705	1 800	9 325	3 970	NC	4 933*	NC	NC

NC : Chiffres Non Communiqués.

*Dont : 3 500 T de sardines et anchois, 300 T de merlus, 280 T de poulpes, 50 T de loup (bar), 41 T de soles (soit une valeur de 2,3 millions de F, soit 4,5% de la valeur débarquée pour l'année).

Tableau 4.19 : apports aux criées pour les années 1999 et 2000 (cf. journal « LE MARIN », hors-série de mars 2001)

Situation de la pêche sur la zone de Fos (quartier maritime de Martigues)

Le quartier de Martigues couvrant la partie Maritime Ouest du département des Bouches-du-Rhône se divise en cinq zones : Côte Bleue, Etang de Berre, Golfe de Fos, Camargue, Golfe de Beauduc et des Saintes- Maries de la Mer.

Sur la zone du Golfe de Fos et au large :

- divers types de navires sont présents :

chalutiers (pélagique et fond),

thoniers,

lamparos,

petits métiers²² (traîne, trabaques, nasses, calens, globes, drague, tellinier, plongée, seinche) (cf. Affaires Maritimes, 1991) ;

- divers arts sont représentés :

pêche à main,

arts fixes,

arts dérivants,

arts encerclants,

arts traînants (cf. IFREMER, 1990).

Selon la Direction Départementales des Affaires Maritimes de Provence Alpes Côte d'Azur, le nombre de chalutiers au 1^{er} janvier 2000 pour le service de Martigues était de 30 soit 71,43% par rapport à la région PACA (plus de 60 chalutiers dans les ports de la région Languedoc- Roussillon) ; le nombre de Lamparos était de 1 (soit 16,67%) ; le nombre de petits métiers était de 157 (soit 26,25%). Sur les 30 chalutiers, 10 pratiquaient exclusivement sur le fond et 20 étaient des chalutiers polyvalents (pélagique et fond).

Tous types de métiers confondus, les équipages à la pêche sur Martigues représentaient en 1999, 440 personnes (dont 109 embarqués sur chalutiers et 219 pour les petits métiers).

²² Pêche à main : la traîne dans les canaux (loup), plongée (cueillette des oursins et palourdes sur la côte bleue [Sausset-les-Pins à Ponteau] et l'Anse de Carteau), tellinier (drague à bras à tellines sur les plages des Stes-Maries de la Mer), globes en zones portuaires (filets à cabassons).

Arts fixes : nasses en zone semi-portuaire (crabe, anguilles et poissons), trabaques (filets à anguilles) dans les canaux.

Arts traînants : drague (huîtres et bioux), calens tendus en travers des canaux (loup et mulet), seinche (anchois et sardines).

Les apports sur les principaux points de débarquement sont présentés dans le **Tableau 4.20**.

Apports	1997	1998	1999	2000	Commentaires
Port- de- Bouc (criée) OP Copémart* *	1 089 T – Valeur de 21 000 KF	1 313 T – Valeur de 21 900 KF	1 400 T – Valeur de 26 096 KF 3100 T – Valeur de 22 000 KF	1 433 T – Valeur de 27 200 KF 3500 T – Valeur de 23 100 KF	Baisse des apports pélagiques en 98.
Port- Saint- Louis- du- Rhône			150 T de coquillages	400 T de tellines et 3 000 T de sardines	Révision du classement de salubrité des zones de pêche qui passent d'un A provisoire* à B.
Martigues- Carro			300/400 kg de merlu par calée à Carro		Baisse de l'abondance de poissons plats. Thonaille moyenne.
Origine des résultats	« le marin » Hors série, Mars 1999	« le marin » Hors série, Mars 1999	« le marin », Hors série, mars et novembre 2000 ; Affaires Maritimes 2000	« le marin » Hors série, Mars 2001	-

*Zone A : zone dans laquelle les coquillages peuvent être récoltés pour la consommation humaine directe.

**OP Copémart : Coopérative.

Tableau 4.20 : apports de produits de la mer dans les principaux points de débarquement du quartier de Martigues

La fiche d'identité des flottilles par zones (cf. journal "LE MARIN" de mars 1999, 2000 et 2001) est présentée ci-après :

- Port- de- Bouc : 421 inscrits (104 sur chalutiers et 209 sur petits métiers) ; 233 navires dont 26 chalutiers et 141 petits métiers ;
- Port- Saint- Louis- du- Rhône : 9 chalutiers y sont basés mais débarquent à Port de Bouc. La conchyliculture et la conserverie de poisson emploient 120 petits métiers très polyvalents ;
- Martigues- Carro : 15 unités pratiquent la pêche au filet maillant du large et calent dans des fosses ou sur le devant du plateau continental.

La distribution des ressources halieutiques

Plus de 70 espèces d'intérêt halieutique ont été identifiées (cf. étude de Bolopion et collaborateurs, janvier 2000).

Dans le Golfe du Lion, la distribution des espèces est indiquée de manière très schématique dans le **Tableau 4.21** en fonction de la distance à la côte.

Espèce	0 à 3 milles	3 à 6 milles	6 à 12 milles	> à 12 milles
Merlu	++	++	++	+++
Capellan				+++
Rougets barbets	+++			+++
Baudroies			++	+++
Raie bouclée				+++
Grondin gris			+++	+++
Saint Pierre				+++
Pageots	++	++	++	+++
Sole	+++	+++	+++	
Bar	+++			
Dorade royale	+++			
Profondeur G. Lion (m)	0 à 20	20 à 35/40	35/40 à 70/80	> 70/80
Profondeur G. Fos (m)	0 à 50/60	50/60 à 70/90	70/90 à 100/110	> 100/110

+ : espèce rare

++ : espèce fréquente

+++ : espèce abondante

Tableau 4.21 : distribution des ressources halieutiques dans le Golfe du Lion

En complément, nous avons précisé à quelles profondeurs correspondent ces distances dans le Golfe du Lion puis à l'extérieur du Golfe de Fos (dernières lignes). En effet, dans ce dernier, un rapprochement et un resserrement des isobathes par rapport à la côte sont observés ; ce qui tendrait à démontrer que pour une même distance par rapport à la côte, la distribution des espèces est plus concentrée dans la zone située entre la côte et le large du Golfe de Fos que dans celle du Golfe du Lion.

Bon nombre d'espèces démersales se répartissent entre la zone côtière et le large :

merlu,

grondin,

baudroie,

pageot,

rouget,

les autres constituent des ressources exclusivement présentes dans la bande côtière (sole, dorade).

Le stock de merlu, pêché dans la zone des 12 milles nautiques et au delà, est soumis à un haut degré d'exploitation. Les captures sont composées d'individus de très petites tailles.

La pression de pêche des chalutiers est la plus importante sur le loup (bar), la sole et la dorade. L'effort de pêche s'exerce sur les jeunes individus.

Les poissons plats : la sole (source : communication de Mme C. Salen- Picard, A. Darnaude et M. Harmelin- Vivien, COM)

Parmi les espèces de poissons communément débarquées à Martigues, 47 % des soles pêchées dans l'ensemble du Golfe du Lion y sont débarquées. Les débarquements présentent cependant des variations interannuelles importantes.

Dans le Golfe du Lion, les densités maximales de l'espèce sont observées entre 30 et 80 m de profondeur en face du Delta du Rhône (Gaertner et al., 1999). La reproduction a lieu de janvier à mars (Sheata, 1984), les juvéniles s'installent sur le fond d'avril à juin dans les zones sableuses abritées telles que le Golfe des Saintes-Maries, l'anse de Beauduc et la zone sableuse bordant le They de la Gracieuse. En grandissant elle migre en profondeur.

La plupart des individus d'une longueur totale inférieure à 18 cm (1^{ère} année) se situent entre 5 et 20 m de profondeur. Ceux de 18 à 26 cm se situent plutôt entre 30 et 50 m et les plus grands individus vivent entre 70 et 100 m. Dans le Golfe du Lion, les individus atteignent une maturité sexuelle à une taille d'environ 25 cm (Vianet et al., 1989), ce sont donc essentiellement les reproducteurs qui vivent sur les fonds de 70 à 100 m.

Lors d'une étude récente menée au COM dans le cadre de la thèse d'A. Darnaude : "Apports terrigènes et eutrophisation des zones côtières : impact sur les populations de poissons démersaux au large du Rhône", des chalutages ont été réalisés à différentes profondeurs (10, 30, 50 et 90 m) de part et d'autre de l'embouchure du Grand Rhône. Probablement en raison de la présence de la zone de nourricerie du They de la Gracieuse, les récoltes de soles ont été significativement plus abondantes au large de Fos qu'au large de Faraman.

Les plus petits individus de sole (< 12 cm) se nourrissent surtout de petits crustacés abondants sur les fonds de sable (Darnaude et al., 2001). Dès la fin de leur première année, les polychètes deviennent l'élément dominant de leur alimentation (> 50 %) puis ceux-ci représentent de 85 à 95 % des proies ingérées.

Les crues importantes du Rhône sont suivies de proliférations des annélides polychètes vivant dans les fonds de vase situés entre 30 et 90 m. Les crues apportent à la mer de grandes quantités de matière organique d'origine terrestre et, de plus, favorisent la production primaire in situ. Selon la biologie des espèces (durée de vie, période de reproduction, âge de la maturité sexuelle) et leur comportement alimentaire les proliférations ont lieu de quelques mois à 2 ans après la crue. De même la population de soles répond à l'augmentation de ses proies préférentielles, les maximums de prises intervenant dans les 4 à 6 ans après les crues importantes (les quantités peuvent être multipliées par 3 après une période de crues).

Zones sensibles d'intérêt halieutique

Le Golfe du Lion est constitué d'un vaste plateau continental (fonds de 0 à 200 mètres) recouvert de dépôts sableux. Cette géomorphologie particulière y a favorisé le développement du chalutage.

La limite Est du Golfe du Lion est la zone de Fos. Sur le quartier de Martigues on peut considérer que cette limite est matérialisée par un parallèle Nord/Sud passant par le Delta du Rhône.

Des nourriceries de bon nombre d'espèces d'intérêt majeur sont localisées dans les lagunes et la bande des 3 milles nautiques (cf. § 4.2.12.4.1 – ZNIEFF; voir zones 13M07 et 13M08) : rougets barbets, pageots, sole, bar, dorade royale, etc.

4.2.12.3 - Activités de loisirs

4.2.12.3.1 - Baignade

La **directive européenne du 8 décembre 1975 (n°76/160/CEE)** a établi les seuils de qualité des eaux de baignade (transcrite en droit français par le **décret 81- 324 du 7 avril 1981** modifié par le **décret n°91- 980 du 20 septembre 1991** qui fixe les seuils d'hygiène et de sécurité applicables aux baignades).

Pour l'évaluation de la qualité des eaux de baignade, la surveillance porte sur les germes indicateurs de contamination fécale et l'aspect physico- chimique de l'eau dont les résultats sont pris en compte dès l'année 1999.

Sur la base de ces résultats bactériologiques et physico- chimiques (depuis 1999), il est attribué un classement des eaux de baignade en fin de saison balnéaire (**cf. Tableau 4.11**) :

- Eaux de baignade de qualité conforme aux valeurs impératives bactériologiques (avant 1999) :

A (bonne qualité), respect des valeurs guides

E (qualité moyenne)

- Eaux de baignade de qualité non conforme aux valeurs impératives bactériologiques :

C (pouvant être momentanément polluée)

D (mauvaise qualité), très fréquemment polluée

Le classement varie d'année en année (**cf. Tableau 4.22**).

Commune	Point de prélèvement	1997	1998	1999	2000
Arles	Plage d'Arles	B	A	A	A
Carry- le- Rouet	La Tuilière	B	B	A	A
	Cap Rousset	A	B	A	A
	Rouet Plage	A	B	A	A
Fos-sur- Mer	Cavaou	A	A	A	A
	Grande Plage	A	A	A	A
Martigues	Carro	A	A	B	A
	Les Laurons	A	B	A	A
	Verdon	A	A	A	A
	Sainte Croix	A	B	A	A
	Grand Vallat	A	C	-	-
Port- de- Bouc	Bottai	A	A	A	A
	Petite Plage	A	A	A	A
Port Saint Louis du Rhône	Napoléon	A	A	B	A
Sausset- les- Pins	Corniche	A	A	A	A

Tableau 4.22 : classement des eaux de baignade pour les points les plus proches de la zone de clapage²³

L'aspect physico- chimique de l'eau est pris en compte dans le classement de la qualité des eaux de baignade (huiles minérales, mousse, phénol) par rapport aux valeurs guides. De plus, depuis 1999, la teneur en coliformes fécaux est aussi prise en compte dans ce classement.

En 1997, 13 plages sur 15 indiquent une eau de baignade de bonne qualité (A) et 2 sur 15 de qualité moyenne (B) alors qu'en 1998, seules 9 plages sont classées A, 5 plages sont classées B et 1 plage présente une eau de baignade pouvant être momentanément polluée (plage du Grand Vallat à Martigues). On note ainsi une diminution de la qualité des eaux de baignade entre ces deux années.

En revanche, en 1999, on remarque une nette amélioration avec 12 plages sur 14 ont une eau de baignade de bonne qualité et en 2000 on en trouve 14 sur 14. Cette augmentation de la qualité des eaux de baignade n'est pas locale : elle se retrouve sur toutes les plages des Bouches- du- Rhône.

²³ Données de la DDASS

4.2.12.3.2 - Sports nautiques

Sur cette portion de côte, plusieurs plages et criques sont propices à la pratique du surf et de la planche à voile. La houle engendrée par le mistral et la tramontane génère des vagues courtes mais nerveuses et rapides que les adeptes de ces sports recherchent.

4.2.12.3.3 - Plaisance

Les ports de plaisance et de pêche sont listés dans le **Tableau 4.23** (cf. Votre Livre de Bord/Bloc Marine, version 2001).

Commune	Port	Nombre de places à flot	Commentaire
Saint- Louis- du- Rhône	Port- St- Louis- du- Rhône	314	Sur Golfe de Fos
	Port Carteau	40	
	Port à sec	23	
	Port Napoléon	250	
Fos- sur- Mer	Fos/Mer – St- Gervais	840	
Port- de- Bouc	Port- de- Bouc	448	
Martigues	Bassins de Ferrières et de Jonquières	320	Plaisance + pêche
	Club nautique de Martigues et de l'étang de Berre	220	Sur étang de Berre
	Port de Carro	200	Plaisance + pêche
Istres	Les Heures Claires	225	Sur étang de Berre
Saint- Chamas	St- Chamas	280	Sur étang de Berre
Sausset- les- Pins	Sausset- les- Pins	494	Sur Côte Bleue
Carry- le- Rouet	Carry- le- Rouet	559	Sur Côte Bleue
	TOTAL	4213	

Tableau 4.23 : principaux ports de plaisance et de pêche sur le quartier de Martigues

Les principaux ports de plaisance sont ceux de Fos-sur-mer, de Martigues et de Carry- le- Rouet (respectivement 840, 740 et 559 places à flot). Ils représentent à eux trois plus de 50,7% des places à flot du quartier de Martigues.

Ce dénombrement des places à flot au sein des ports de plaisance et de pêche met en évidence une activité importante liée au nautisme. Pendant la haute saison (de mai à août), les bateaux de plaisance sortent plus souvent et contribuent de ce fait à l'augmentation de la fréquentation maritime du Golfe de Fos.

4.2.12.4 - Zones protégées

4.2.12.4.1 - ZNIEFF

L'objectif des ZNIEFF²⁴ est de recenser et inventorier les espaces naturels écologiquement riches et constituer une base de connaissances accessible et consultable avant tout projet au sens de la **circulaire n° 91-71 du 14 mai 1991 du Ministère de l'Environnement**. Cependant, les ZNIEFF ne constituent pas une protection réglementaire opposable au tiers mais elles doivent être prises en compte dans les projets d'aménagement.

La zone du Golfe de Fos et ses abords comprend les ZNIEFF marines suivantes (**cf. Figure 4.15**) (Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres, 1995 ; BCEOM, 1998) :

- Zone 13M06 ANSE DE CARTEAU de superficie 12 230 ha et de profondeur minimale 0 m et maximale 10 m. Les caractères marins d'intérêts de la zone sont : les herbiers et une zone de reproduction de poissons ;

De nombreuses espèces animales vivent dans la couverture végétale de l'Anse de Carteau. On y pratique la récolte de coquillages (palourdes, couteaux et clovisses) et de naissains de moules, mises à grossir sur des tables (cf. 4.2.13.2.2 – Cultures marines).

- Zone 13M05 THEY DE LA GRACIEUSE de superficie 2 370 ha et de profondeur minimale 0 m et maximale 20 m. Les caractères marins d'intérêts de la zone sont : des cordons festonnés, des rides littorales, et le Delta ;

La construction sédimentaire de la Gracieuse protège l'Anse de Carteau et le Golfe de Fos. Cette ZNIEFF est une zone de reproduction de poissons ; la productivité halieutique y est importante et les fonds riches en bivalves sont régulièrement exploités. Les activités marines pratiquées sont : la pêche professionnelle à poste (filets maillants), la pêche professionnelle hauturière (chalut) et la récolte de bivalves à pied.

- Zone 13M08 ZONE DU LARGE DU GRAND RHONE de superficie 53 800 ha et de profondeur minimale 20 m et maximale 700 m. C'est une zone, située hors communes, de reproduction de poissons ou d'intérêt halieutique.

²⁴ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique

Les eaux sont enrichies en permanence en plancton par les apports du Grand Rhône. De nombreuses espèces pélagiques et benthiques sont présentes en permanence ou aux périodes de reproduction et y sont exploitées : merlans, anchois, sardines, pageots, soles, loups. L'activité dominante de la zone est la pêche professionnelle hauturière (chalut).

- Zone 13M07 DE PORT-DE-BOUC À LA POINTE DU CARRO de superficie 860 ha et de profondeur minimale 0 m et maximale 30 m. Cette zone présente des caractéristiques intéressantes dont les principales sont le paysage sous-marin de grande qualité, la présence de coraux et un intérêt halieutique (zone de reproduction de poissons et gisements naturels d'huîtres).

Les principales activités exercées sont : la navigation fluviale et maritime, la pêche professionnelle à poste (filets maillants), la pêche aux oursins, la pêche à la ligne et sous-marine.

Figure 4.15 : situation des ZNIEFF marines et du Parc marin de la Côte Bleue

4.2.12.4.2 - Parc Marin de la Côte Bleue

Cet organisme a été créé en 1983, à l'initiative des municipalités et des usagers avec le soutien de la Région Provence Alpes Côte d'Azur et du Département des Bouches du Rhône.

Le parc marin regroupe les communes de Carry-le-Rouet, Ensués-la-Redonne, Martigues, le Rove et Sausset-les-Pins, soit la totalité de l'entité littorale nommée « Côte Bleue » située entre la rade de Marseille et le Golfe de Fos (cf. **Figure 4.15**).

Les buts poursuivis sont la protection du patrimoine naturel marin de la Côte Bleue, une meilleure gestion des ressources de la mer, l'information du public et la promotion des actions expérimentales et de recherche.

A l'intérieur du parc, il existe actuellement deux zones marines protégées : à Carry-le-Rouet et au Cap Couronne.

La zone marine de Carry-le-Rouet a été créée en 1983, avec le soutien de la municipalité, des pêcheurs professionnels et des usagers. Cette zone d'une superficie de 85 ha est intégralement protégée. La profondeur y est comprise entre 0 et 30 mètres. Les fonds marins y sont très diversifiés, et on constate un repeuplement très visible du site par différentes espèces de poissons, même dans les petits fonds côtiers.

La deuxième zone marine protégée située à Cap Couronne a été créée en 1996, suite à l'adhésion de la ville de Martigues, et grâce à l'initiative des pêcheurs professionnels de Carro. Cette zone est réglementée de la même façon que celle de Carry-le-Rouet. La superficie de 210 ha, dont la profondeur varie de 13 à 50 m, occupe un secteur très important pour la reproduction de diverses espèces exploitées.

L'objectif poursuivi sur ces deux zones est de soustraire les espèces aux principales perturbations que l'homme apporte au milieu marin. C'est pourquoi, la pêche (y compris la pêche professionnelle) y est interdite, ainsi que la chasse sous-marine, la récolte de fruits de mer, le mouillage et la plongée individuelle en scaphandre. Cependant le passage des navires, la baignade et la découverte des fonds en apnée restent possibles dans ces deux zones.

Dans le cadre du Parc Marin, depuis 1983 plusieurs programmes d'aménagements des fonds par récifs artificiels se sont succédés devant l'ensemble du littoral, à l'intérieur et à l'extérieur des deux zones protégées. Ces programmes financés, notamment par l'Union Européenne, permettent d'expérimenter en grandeur réelle et à l'échelle de l'entité géographique de la Côte Bleue des opérations de préservation de la pêche et de protection des fonds contre certaines techniques de pêche (chalutage) interdites près du littoral.

4.2.12.5 - Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)

Pris dans l'article 3 de la loi sur l'eau, le SDAGE est un acte réglementaire et obligatoire. Dans ses grandes orientations, il définit les règles essentielles de la gestion des milieux et des usages à intégrer dans la délivrance d'autorisation.

Les principales orientations énoncées dans le volet littoral du SDAGE, sont les suivantes :

1. Mise en œuvre d'un réseau d'observation et de mesures de la qualité du milieu marin dans les zones homogènes littorales
2. Améliorer l'état de connaissance
3. Intensifier la lutte contre la pollution par les toxiques
4. Lutter contre la pollution microbiologique
5. Préserver les milieux particuliers indispensables à l'équilibre de l'écosystème marin

La mise en place du Réseau Littoral Méditerranéen (RLM) depuis quelques années contribue fortement à l'amélioration de la connaissance de la qualité des milieux. La qualité des eaux littorales est généralement bonne et propice aux usages sensibles grâce notamment à des mesures prises comme : la mise en place de traitements biologiques adaptés aux variations de pollution des communes littorales afin de réduire le risque sanitaire lié à la pollution microbienne, la réduction des rejets industriels de substances toxiques sur le littoral et dans le Rhône.....

Le littoral de Fos est compris dans la zone homogène n°16 EMBOUCHURE DU GRAND RHONE – CAP COURONNE. Les critères majeurs de cette zone sont : zone fermée (golfe avec cordon dunaire ...), milieu écologiquement riche (ZNIEFF marines, ressources halieutiques), pression anthropique forte, état du milieu moyen. Les risques qui y sont identifiés sont : l'érosion, l'eutrophisation, la contamination chimique, les rejets urbains et industriels, les apports du Rhône, la pollution marine accidentelle et les ports de plaisance.

Les orientations de la zone homogène sont essentiellement la conciliation de tous les usages avec les maintiens de la richesse écologique du milieu et la lutte contre le phénomène d'érosion du They de la Gracieuse.

4.2.12.6 - Zones de clapage

4.2.12.6.1 - Zones de clapage avant 1996

Une zone circulaire anciennement affectée aux dépôts de dragage s'étend à proximité du rivage Nord- Ouest de Port- de- Bouc (**cf. Figure 4.16**). Elle est représentée par un cercle de 0,4 mille nautique de rayon, centré au Nord- Ouest et à 1,5 milles nautiques de Port- de- Bouc. Cette zone est considérée comme dangereuse par suite des modifications de profondeurs qui s'y produisent. Les dépôts n'y sont plus autorisés (SHOM, 1997).

Les premiers travaux d'aménagements du port de Fos ont commencé en 1966 et ont conduit au creusement des darses 1 et 2, à celui du chenal d'accès à ces darses et à la construction d'une digue d'accostage pour pétroliers. Les matériaux issus du creusement de ces darses ont été rejetés à terre tandis que

ceux provenant du dragage du chenal d'accès (24 m) ont été déversés en mer à la sortie du golfe (SALEN-PICARD, 1981).

Ces rejets en mer, qui représentaient un volume de 25 à 28 000 000 m³ de limons consolidés, de calcaires à lumachelles et de galets (SALEN-PICARD *et al.*, 1996), se sont effectués en deux phases successives et à des profondeurs différentes :

- une première phase échelonnée entre 1966 et 1969 par 30 à 45 m de profondeur ;
- une deuxième phase de 1970 à 1972 plus au Sud, jusqu'à 60 m de profondeur.

Les travaux ont repris en 1976 avec le creusement d'un nouveau poste pétrolier. Le rejet des matériaux de dragages s'est effectué entre 1976 et 1977 et se sont situés dans la région moyenne des premiers dépôts entre 40 et 50 m de profondeur, couvrant une zone de 11 km² environ (SALEN-PICARD *et al.*, 1996).

4.2.12.6.2 - Actuelle zone de clapage

L'Arrêté du 5 juillet 2001 (modifiant l'arrêté du 17 juillet 1996) des **Préfets de la région PACA et des Bouches-du-Rhône** porte sur le permis d'immersion pour 5 ans de produits de dragages sur une zone délimitée par un quadrilatère défini par les points ci-dessous :

- A : 43° 22' 00 N – 004° 56' 37 E
- B : 43° 22' 00 N – 004° 57' 07 E
- C : 43° 21' 23 N - 004° 56' 70 E
- D : 43° 21' 23 N - 004° 57' 70 E

La profondeur moyenne de ce site est de 30 m et sa capacité maximale de 350 000 m³ (**cf. Figure 4.16**).

Cet arrêté fixe aussi les périodes d'immersion, limités à la période du 1^{er} octobre au 31 mai, et le contrôle de la qualité des matériaux immergés et des zones d'immersion.

4.2.12.7 - Présences d'épaves

Il existe de nombreuses épaves, détectées par sonar, dans le Golfe de Fos et au large (source : Marine Nationale). Ce sont pour la plupart des épaves anciennes de bateaux, avions et hydravions qui ne sont apparemment pas encore toutes répertoriées sur les cartes du SHOM.

Figure 4.16 : localisation des zones de clapage

4.2.13 - Trafic maritime

4.2.13.1 - Réglementation

4.2.13.1.1 - Côtes françaises de la Méditerranée

La circulation des navires, engins de plage et la pratique des sports nautiques de vitesse, ainsi que la protection des lieux de baignade sur le littoral méditerranéen est réglementée par l'**arrêté 16/90 du 1^{er} juin 1990 du Préfet Maritime de la Méditerranée**.

Cet arrêté fixe notamment :

- les limitations de vitesse en zone littorale ;
- les règles particulières de circulation des navires dans les voies d'accès portuaires et les zones de mouillage ;
- les limites de circulation des engins de plage et des véhicules nautiques à moteur ;
- les chenaux et zones réservées dans la zone littorale ;
- les règles particulières applicables dans les chenaux réservés aux navires pour l'accès au rivage et aux ports de plaisance et dans les chenaux et circuits réservés aux sports nautiques de vitesse ;
- l'établissement des plans directeurs de balisage ;
- les périodes d'application, les dérogations spéciales, les peines et poursuites encourues, etc.

4.2.13.1.2 - Golfe de Fos et large

La circulation dans le Golfe de Fos est réglementée par les arrêtés suivants :

- **arrêté préfectoral 23/83 du 6 mai 1983** du Préfet Maritime de la Méditerranée, portant réglementation de la circulation des navires-citernes transportant des hydrocarbures et les navires transportant des substances dangereuses ou toxiques au voisinage des côtes françaises de la Méditerranée ;
- **arrêté préfectoral 64/85 du 19 décembre 1985** du Préfet Maritime de la Méditerranée, portant création de chenaux d'accès aux ports et mouillages du littoral méditerranéen pour les navires-citernes transportant des hydrocarbures et les navires transportant des substances dangereuses ;

- **arrêté ministériel du 23 novembre 1987** relatif la sécurité des navires ;
- **arrêté conjoint 78/88 du 23 septembre 1988** du Préfet Maritime de la Méditerranée et du Préfet de la Région P.A.C.A, portant réglementation de la navigation des bâtiments dans les accès et les bassins des ports de Marseille et du Golfe de Fos ;
- **arrêté préfectoral 16/90 du 1^{er} juin 1990** du Préfet Maritime de la Méditerranée, portant réglementation de la circulation des navires, engins de plage et de sport nautique, ainsi que de la protection des lieux de baignade sur le littoral méditerranéen.

4.2.13.1.3 - Accès au Port Autonome de Marseille – Bassins Ouest

L'accès aux Bassins Ouest du Port Autonome de Marseille dans le Golfe de Fos, est réglementé par l'**arrêté conjoint 78/88 du 23 sept. 1988 du Préfet Maritime de la Méditerranée et du Préfet de la Région P.A.C.A.** dont les principales dispositions sont définies dans ce qui suit.

4.2.13.1.4 - Accès au Golfe de Fos (Titre II, art.6, 7, 8, 9)

La navigation à destination des ports et bassins du Golfe de Fos est réglementée et l'accès se fait selon :

- la zone de "préengainement", permettant aux grands navires de se présenter cap sur le feu de Saint- Gervais dans les meilleures conditions à l'aide de la bouée lumineuse d'atterrissage dénommée "Oméga" ;
- le chenal d'accès au Golfe de Fos ;
- le chenal dragué du Golfe de Fos, réservé en priorité aux navires dont le tirant d'eau ne permet pas une libre navigation dans le Golfe de Fos.

Sont aussi mentionnées les règles de priorité dans le cisaillement de trafic dans le Golfe de Fos.

4.2.13.1.5 - Zones de mouillage (Titre III, art. 12)

Il est défini dans l'**arrêté 78/88** cinq zones de mouillage dont trois se situent dans le Golfe de Fos et au large : "Golfe de Fos-Est", "Golfe de Fos-Ouest", "Golfe de Fos-Nord" et dont les limites respectives sont précisées dans l'arrêté (**cf. Figure 4.1**).

4.2.13.1.6 - Zones de mouillage interdit (Titre III, art. 13)

Le mouillage est interdit dans les zones où se trouvent des installations reposant sur le fond (câbles sous-marins ou canalisations diverses) dans le but de les protéger.

Dans le Golfe de Fos, au Nord du parallèle du Phare du Cap Couronne, il est formellement interdit de prendre un mouillage d'attente :

- dans la zone correspondant au chenal d'accès au Golfe de Fos ;
- dans le chenal dragué de Fos ;
- dans la zone d'évolution située devant les appontements pétroliers de Fos ;
- à moins de 500 m des alignements d'entrée à Port- de- Bouc ;
- dans la zone de l' "ex sea-line" de Lavéra délimité précisément dans l'arrêté.

Ces zones sont signalées par des balises à panneau blanc portant les mots "INTERDICTION DE MOUILLER".

4.2.13.1.7 - Cas particuliers (Titre IV)

Cette partie du présent arrêté définit :

- les priorités spécifiques (Art. 14) et les marques des navires concernés (Art. 15) ;
- la navigation par visibilité réduite (Art. 16) ;
- la signalisation des navires remorqués sans force motrice ;
- le règlement pour la navigation à la voile et à l'aviron (Art. 18 et 19).

4.2.13.1.8 - Passes et bassins – Ponts mobiles (Titres V et VI)

Cet arrêté fixe aussi la réglementation de la circulation dans les passes et bassins (priorités, signalisation et mouvements) et aussi les précautions de passage des ponts mobiles (signalisation, horaires, zone d'engagement, etc.).

4.2.13.2 - Dispositions concernant la sécurité

4.2.13.2.1 - Câbles sous- marins

La protection des câbles sous- marins est assurée par :

- la Convention Internationale du 14 mars 1884 pour les eaux non-territoriales ;
- la loi du 20 décembre 1884 pour les eaux territoriales et non- territoriales ;
- l'arrêté 13/79 du 18 juin 1979 du Préfet Maritime de la Méditerranée pour la zone d'étude du Golfe de Fos.

Les seules dispositions relatives à la protection des câbles sous-marins à prendre à proximité de la zone d'étude concernant le réseau de câbles internationaux qui s'étend au large du Cap Couronne et atterrit sur le littoral de la commune de Martigues à La Couronne (SHOM, 1997).

Il est interdit à tout bâtiment ou embarcation de mouiller ou draguer dans la zone définie ci-dessous :

- à l'Ouest : une ligne orientée à 205° à partir du phare du Cap Couronne ;
- au Nord : le littoral entre le méridien du phare du Cap Couronne et le méridien de l'îlot l'Aragon ;
- à l'Est : une ligne orientée à 180° à partir de la pointe Sud de l'île Aragon jusqu'au parallèle 43° 17' Nord, puis à 190° ;
- au Sud : le parallèle 42° 55' Nord.

Le chalutage est interdit pour tous les chalutiers dans la bande côtière de 3 milles du secteur défini.

4.2.13.2.2 - Hydravions de lutte contre les feux de forêts

La circulation de ces hydravions est réglementée par l'**arrêté 2/95 du 24 février 1995 du Préfet Maritime de la Méditerranée**.

Des hydravions destinés à la lutte contre les feux de forêt, plus communément appelés "canadaïrs", utilisent normalement pendant la période estivale des zones dégagées et calmes pour faire leur plein d'eau. Aucun préavis ne peut être donné. La liste des plans d'eau susceptibles d'être utilisés comprend la zone de Port- de- Bouc (SHOM, 1997).

A la vue de cette manœuvre, les bâtiments, voiliers embarcations et plongeurs doivent impérativement s'éloigner le plus rapidement possible de l'axe de passage, à une route perpendiculaire, jusqu'à une distance d'au moins 500 m et laisser ensuite la zone libre jusqu'à une heure après le passage du dernier appareil (SHOM, 1997).

4.2.14 - Poids socio-économique des activités industrialo-portuaires de Fos-Marseille

Avec un total d'environ 41 000 emplois directs (# 9 500 en 1999) et indirects (# 31 500 en 2000)(entraînement d'autres secteurs de l'économie : transport, logistique, stockage), le port de Marseille représente environ 8% des emplois dans les bassins d'emplois où il est implanté (Marseille/Aubagne, Fos-sur-Mer, et l'Etang de Berre) (source G. Planque/PAM- INSEE-ORT, 2001), 6,2% du total des emplois du département des Bouches-du-Rhône.

En PACA, les emplois dans les transports s'élèvent, début 1999, à 74 000. Les Bouches-du-Rhône rassemblent 47% de ces emplois. Les emplois indirects liés à la présence des ports de PACA sont estimés à 4 700 emplois, soit 6,7% des emplois en PACA.

L'ensemble des communes concernées par un impact indirect sur les transports forme une zone de 45 communes autour de l'étang de Berre dans un triangle de 70 km de côté qui va d'Aubagne à l'Est, à Port-Saint-Louis du Rhône à l'Ouest et jusqu'à Cavillon au Nord. 87% des emplois dans le transport liés aux ports sont concentrés dans ce périmètre (source G. Planque/PAM- INSEE-ORT, 2001).

En 1998, pour les marchandises portuaires (hors hydrocarbures), un emploi (dans les transports et la logistique) « traite » en moyenne 3 300 Tonnes en région PACA.

L'utilisation de conteneurs limite le temps et le personnel nécessaires aux opérations de transbordement des marchandises dans les établissements qui assurent le transport. En revanche, elle requiert plus de main d'œuvre pour certains services de stockage et de logistique (empotage, dépotage, reconditionnement des produits, ...). Ainsi, l'activité conteneur créerait **un emploi pour 2 200 tonnes**, dans les établissements de transport et de logistique.

4.3 - CARACTÉRISATION PHYSICO- CHIMIQUE DES ZONES À DRAGUER

L'ensemble des zones à draguer a fait l'objet d'une campagne d'échantillonnage de sédiments superficiels et de sédiments profonds (cf. rapports de mission en **Annexe 4.1**).

Les moyens nautiques et humains utilisés lors de la campagne d'échantillonnage sont décrits dans le rapport de mission.

4.3.1 - Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage suivi et les prélèvements de matériaux effectués suivent l'annexe de la circulaire relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins présents en milieu portuaire défini par l'Arrêté interministériel du 14 juin 2000 :« Instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage ».

Les travaux de dragage envisagés correspondent à des travaux neufs. Les analyses doivent donc être effectuées sur chaque grand faciès de matériaux meubles (exception des matériaux graveleux).

De façon à acquérir une connaissance satisfaisante des propriétés chimiques et physiques des matériaux à draguer, il a été convenu d'adopter une démarche de prélèvement utilisant deux techniques : la benne preneuse et le carottage. La première technique permet de caractériser la couche superficielle (0 à 20 cm) du sédiment de la darse 2 ; la seconde de caractériser les faciès géologiques plus profonds.

Le prélèvement (carotte et benne) de sédiments a été réalisé avant le début des travaux, soit le :

30 novembre et 1^{er} décembre 2000, pour la prise de sédiment superficiel à la benne grand modèle Van Veen ;

du 3 au 17 juillet 2001, pour la prise de sédiment sur les horizons profonds au carottier.

4.3.1.1 - Benne preneuse. Sédiments superficiels

Soixante stations de sédiments superficiels ont été échantillonnées dans la zone à draguer :

12 stations dans le chenal d'accès à la darse 2,

18 stations dans la partie Sud de la darse 2,

30 stations dans la partie Médiane de la darse 2.

Une prise de sédiment (1 coup de benne) a été réalisée à chaque station. Au total, 60 prises ont été remontées sur le navire.

La position de ces stations a été localisée par GPS Différentiel (SERCEL NR 51). L'utilisation d'une benne à sédiment VAN VEEN grand modèle²⁵ d'une surface de prélèvement de 0,1 m² a permis l'échantillonnage des 15 à 20 premiers centimètres de sédiment, sans perturbation de l'échantillon prélevé. Le bateau à chaque fois a été ancré à la position désirée (position déterminée sur plan bathymétrique dans la zone à draguer préalablement à la mission). Cette benne est manœuvrée du bateau par câble. Elle pénètre dans le sédiment, mâchoire ouverte, par gravité et se referme par traction du câble lors de sa remontée (**cf. Planche photographique 4.3**).

Les emplacements des stations sont reportés dans le tableau de l'**Annexe 4.1** et sur la carte de la **Figure 4.1**.

La profondeur des stations varie entre 7 et 17 mètres.

Les prises de sédiments ont été regroupées selon la position des stations par 2 ou 3 afin de constituer l'échantillon moyen qui sera analysé par le laboratoire. Au total, 22 échantillons moyens ont été constitués.

Chaque prise a été conditionnée dans un contenant en polyéthylène haute densité et stockée à l'obscurité sur le bateau dans des conteneurs réfrigérés.

A terre, les prises ont été homogénéisées de manière à constituer chaque échantillon moyen. Un même volume de chaque prise a été prélevé de façon à ce que le résultat issu du mélange soit représentatif de la contamination sur l'aire considérée.

Les échantillons ont été acheminés conditionnés en enceinte thermostatée au laboratoire d'analyse par messagerie rapide (durée de transport inférieure à 24 heures).

4.3.1.2 - Carottier. Horizons profonds

Soixante quatre stations de sédiments ont été sondées dans la zone à draguer par la Société FUGRO :

13 stations dans le chenal d'accès à la darse 2 (5 sondages carottés + 8 pénétromètres statiques),

22 stations dans la partie Sud de la darse 2 (7 sondages carottés + 15 pénétromètres statiques),

29 stations dans la partie Médiane de la darse 2 (12 sondages carottés + 10 pénétromètres statiques + 7 sondages pressiométriques).

La position de ces stations a été également localisée par GPS Différentiel.

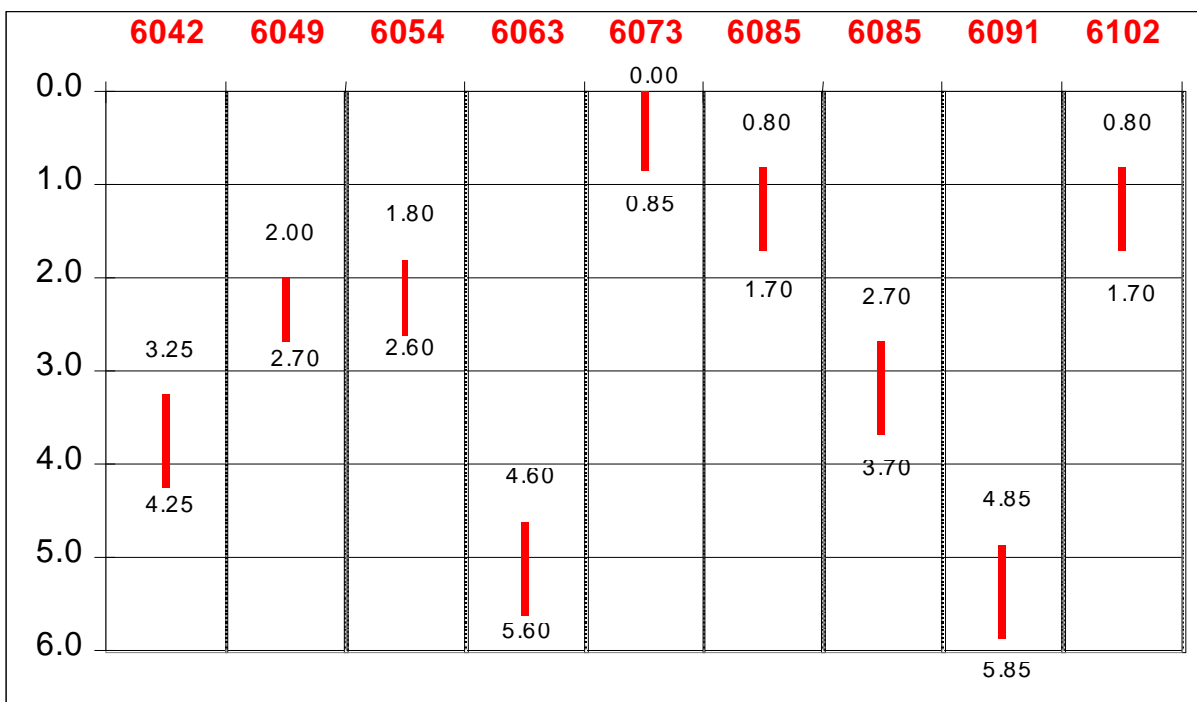
²⁵ caractéristiques : 35 x 42 x 90 cm, en acier inoxydable et poids à vide de 25 kg.

Les prélèvements pour analyses physico-chimiques ont été effectués sur les matériaux issus des sondages carottés et stockés en chambre froide (4°C) (cf. **Planche photographique 4.5**). Ces prélèvements ont été effectués le 23 juillet 2001 en 8 stations :

- 2 stations (points n°6042 et n°6049) dans le chenal d'accès à la darse 2,
- 3 stations (points n°6054, n°6063 et n°6073) dans la partie Sud de la darse 2,
- 3 stations (points n°6085, n°6091 et n°6102) dans la partie Médiane de la darse 2.

Les emplacements des stations sont reportés dans le rapport de mission en **Annexe 4.1** et sur la carte de la **Figure 4.1**.

Au total, 9 échantillons ont été constitués (1 par station à l'exception du point n° 6085 où 2 échantillons ont été collectés). Les niveaux échantillonnés (cf. diagramme ci-après) ont été choisis en fonction de leur granulométrie (inférieure à 2 mm) et de façon à ce que les prises soient au maximum représentatives de la répartition spatiale des matériaux dans toute la colonne sédimentaire à draguer :



Le 0.0 m correspond au toit des sédiments échantillonnés (sommet des carottes).

Chaque échantillon a ensuite été séparé en 4 *aliquotes*, envoyés, selon les laboratoires (Institut Pasteur de Lille, Etablissement Public des Laboratoires Départementaux – Lagor, CREOCEAN), pour analyses. Le dernier aliquote a été conservé, réfrigéré, à CREOCEAN.

Comme précédemment, les échantillons ont été acheminés conditionnés en enceinte thermostatée au laboratoire d'analyse par messagerie rapide (durée de transport inférieure à 24 heures).

Planche photographique 4.5

**Chambre froide de stockage et carottes
de sédiments**

4.3.2 - Mode de traitement des résultats

Le paramètre utilisé de manière générale en sédimentologie pour définir la taille des éléments est la médiane. Celle-ci correspond au diamètre répartissant en parts égales (*i.e.* à 50%) le même nombre de particules.

Pour les métaux traces et les hydrocarbures halogénés que représentent les congénères de polychlorobiphényles (PCB), l'Arrêté interministériel du 14 juin 2000 fixe les niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins présents en milieu portuaire. Ces niveaux de référence ou seuils sont précisés dans les tableaux de résultats.

La circulaire relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins présents en milieu portuaire défini par l'Arrêté interministériel du 14 juin 2000 fixe les conditions d'utilisation des seuils de référence :

Au dessous du niveau N1, « l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental.... » ;

« Entre le niveau N1 et le niveau N2, une investigation complémentaire peut être nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement de N1... » ;

« Au delà du niveau N2, une investigation complémentaire doit être proportionnée à l'importance de l'opération envisagée.... ».

Pour les autres composés tels les hydrocarbures polyaromatiques et les organoétains, des comparaisons sont effectuées par rapport à d'autres sites portuaires.

4.3.3 - Résultats d'analyse

La liste des substances détaillées qu'il est nécessaire de doser est proposée dans la circulaire mentionnée précédemment. Toutes ces substances ont été analysées, dans les sédiments, dans le cadre de cette étude.

Le laboratoire de CREOCEAN a effectué les déterminations granulométriques, selon 17 classes de sédiments.

Le laboratoire de Chimie Analytique Bioorganique et Environnement (LCABIE) de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour et le Laboratoire Départemental de Pau ont été chargés de la quantification des organoétains (TBT, DBT, MBT et TPhT, DPhT, MPhT) dans les sédiments.

Le laboratoire du département Eaux et Environnement de l'Institut Pasteur de Lille a été chargé de l'analyse : de la densité et du pourcentage de matière sèche, de la matière organique carbonée (Carbone Organique Particulaire [COP]), des métaux traces (aluminium [Al], arsenic [As], cadmium [Cd], chrome total [Cr], cuivre [Cu], mercure [Hg], nickel [Ni], plomb [Pb] et zinc [Zn]), des polluants organiques

(hydrocarbures polyaromatiques [x16 étalons] et polychlorobiphényles [Congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180]).

Les résultats d'analyses des sédiments superficiels sont mentionnés dans les **Tableaux 4.24 à 4.28**, et des sédiments profonds dans les **Tableaux 4.29 à 4.31**.

DARSE 2 MEDIANE												
	MS	Densité	COP	Al	As	Cd	Cr Tot	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Echantillons	(%)	(20°C)	(% sec)	(%)	(mg/kg poids sec)							
DM.1	68,2	1,72	1,2	3,5	12	< 0,1	27	12	0,058	22	20	56
DM.2	65,7	1,7	1,2	4,7	9,6	< 0,1	30	10	0,074	23	21	60
DM.3	67,3	1,73	0,9	5,4	10	< 0,1	53	12	0,1	25	24	68
DM.4	64,9	1,64	1,3	5,4	12	< 0,1	42	14	0,14	28	30	77
DM.5	62,1	1,65	1	4,2	12	< 0,1	39	14	0,1	28	26	72
DM.6	60,1	1,64	1,2	5,2	13	< 0,1	63	18	0,14	30	32	83
DM.7	61,8	1,62	1,4	5,1	13	< 0,1	63	16	0,14	30	31	80
DM.8	63,6	1,66	1,2	5	12	< 0,1	63	16	0,14	30	32	84
DM.9	63,7	1,69	1,1	6	11	< 0,1	46	16	0,13	30	29	76
DM.10	66,9	1,71	1	4,6	9,3	< 0,1	53	14	0,12	27	28	72
DM.11	67	1,73	0,9	4	9	< 0,1	52	32	0,12	27	29	87
DARSE 2 SUD												
DS.1	62,8	1,67	1,5	3,5	13	< 0,1	38	13	0,053	30	24	54
DS.2	68,9	1,74	1,4	3,1	16	< 0,1	40	13	0,11	26	25	60
DS.3	69,3	1,72	1,3	4,7	9,1	< 0,1	30	12	0,091	25	24	69
DS.4	71,2	1,78	1,1	4,6	14	< 0,1	56	14	0,053	29	28	66
DS.5	67,6	1,78	1	4,8	12	< 0,1	37	11	0,073	28	22	58
DS.6	70,2	1,76	1,4	4	9,9	< 0,1	34	11	<0,05	23	20	56
DS.7	67,4	1,7	1,7	4,5	12	< 0,1	54	12	0,086	25	22	61
CHENAL D'ACCES												
CA.1	57,3	1,6	2	4,9	12	< 0,1	49	17	0,18	32	27	67
CA.2	60,9	1,64	2,2	5,1	13	< 0,1	44	14	0,16	28	27	65
CA.3	60	1,56	2,2	5,4	18	< 0,1	50	15	0,075	28	25	66
CA.4	63,4	1,62	1,6	5	15	< 0,1	59	14	0,062	29	26	60
Niveaux de référence (mg/kg poids sec)												
					As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
				N1	25	1,2	90	45	0,4	37	100	276
				N2	50	2,4	180	90	0,8	74	200	552

Tableau 4.24 : résultats d'analyse des métaux traces et autres éléments dans les sédiments superficiels

DARSE 2 MEDIANE																	
	Fluoranthene	Fluorene	Bz(a)anthrac	Bz(ah)anthrac	B(b)fluorenth	B(k)fluoranth	B(a)pyrene	B(ghi)peryl	Indeno pyr	Acenaphthyl	Acenaphth	Anthrac	Chrys	Naphtal	Phenanthr	Pyr	Tot HA
Echantillons	(mg/kg poids sec)																
DM.1	0,023	<0,005	0,014	<0,005	0,009	0,006	0,013	0,013	0,005	<0,05	<0,005	<0,005	0,02	<0,05	0,018	0,02	0,14
DM.2	0,025	<0,005	0,016	<0,005	0,013	0,006	0,014	0,015	0,007	<0,05	<0,005	<0,005	0,02	<0,05	0,019	0,02	0,155
DM.3	0,043	<0,005	0,025	<0,005	0,015	0,012	0,024	0,025	0,02	<0,05	<0,005	0,005	0,03	<0,05	0,028	0,04	0,264
DM.4	0,052	<0,005	0,03	<0,005	0,019	0,013	0,028	0,026	0,026	<0,05	<0,005	0,006	0,03	<0,05	0,03	0,05	0,31
DM.5	0,033	<0,005	0,015	<0,005	0,01	0,01	0,018	0,017	0,018	<0,05	<0,005	<0,005	0,02	<0,05	0,027	0,03	0,197
DM.6	0,046	<0,005	0,022	<0,005	0,018	0,012	0,027	0,027	0,026	<0,05	<0,005	0,006	0,03	<0,05	0,034	0,04	0,289
DM.7	0,044	<0,005	0,02	<0,005	0,019	0,011	0,025	0,024	0,019	<0,05	<0,005	0,006	0,02	<0,05	0,034	0,04	0,266
DM.8	0,039	<0,005	0,021	<0,005	0,011	0,009	0,022	0,021	0,015	<0,05	<0,005	0,005	0,02	<0,05	0,03	0,04	0,234
DM.9	0,044	<0,005	0,021	<0,005	0,023	0,012	0,026	0,027	0,02	<0,05	<0,005	0,005	0,02	<0,05	0,025	0,04	0,27
DM.10	0,021	<0,005	0,015	<0,005	0,009	0,006	0,013	0,014	0,011	<0,05	<0,005	<0,005	0,02	<0,05	0,015	0,02	0,144
DM.11	0,047	<0,005	0,024	<0,005	0,015	0,01	0,024	0,019	0,015	<0,05	<0,005	0,006	0,03	<0,05	0,03	0,04	0,261
DARSE 2 SUD																	
DS.1	0,03	<0,005	0,014	<0,005	0,024	0,007	0,018	0,016	0,009	<0,05	<0,005	<0,005	0,01	<0,05	0,027	0,03	0,189
DS.2	0,019	<0,005	0,01	<0,005	0,014	0,012	0,02	0,015	0,01	<0,05	<0,005	<0,005	0,01	<0,05	0,011	0,02	0,142
DS.3	0,031	<0,005	0,015	<0,005	0,009	0,007	0,018	0,014	0,009	<0,05	<0,005	<0,005	0,02	<0,05	0,027	0,03	0,178
DS.4	0,034	<0,005	0,016	<0,005	0,022	0,009	0,021	0,018	0,009	<0,05	<0,005	0,005	0,02	<0,05	0,029	0,03	0,216
DS.5	0,014	<0,005	0,012	<0,005	0,01	<0,005	0,007	0,008	0,006	<0,05	<0,005	<0,005	0,01	<0,05	0,012	0,01	0,092
DS.6	0,022	<0,005	0,012	<0,005	0,014	0,006	0,012	0,013	0,006	<0,05	<0,005	<0,005	0,01	<0,05	0,013	0,02	0,135
DS.7	0,036	<0,005	0,019	<0,005	0,01	0,008	0,02	0,019	0,01	<0,05	<0,005	<0,005	0,02	<0,05	0,019	0,04	0,195
CHENAL D'ACCES																	
CA.1	0,054	<0,005	0,019	<0,005	0,015	0,012	0,028	0,02	0,013	<0,05	<0,005	0,008	0,03	<0,05	0,036	0,05	0,284
CA.2	0,081	0,006	0,035	<0,005	0,034	0,02	0,05	0,035	0,04	<0,05	<0,005	0,012	0,04	<0,05	0,15	0,08	0,585
CA.3	0,082	0,006	0,04	<0,005	0,033	0,017	0,047	0,037	0,035	<0,05	<0,005	0,011	0,04	<0,05	0,19	0,08	0,622
CA.4	0,071	0,006	0,037	<0,005	0,027	0,015	0,04	0,031	0,034	<0,05	<0,005	0,011	0,02	<0,05	0,064	0,07	0,427

Tableau 4.25 : résultats d'analyse des hydrocarbures polycycliques aromatiques dans les sédiments superficiels

	CB 028	CB 052	CB 101	CB 118	CB 138	CB 153	CB 180	Somme PCB
Echantillons	(µg/kg poids sec)							
DM.1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.5	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.7	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.8	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.9	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DM.11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DARSE 2 SUD								
DS.1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DS.2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DS.3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DS.4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DS.5	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DS.6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DS.7	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
CHENAL D'ACCES								
CA.1	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
CA.2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
CA.3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
CA.4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Niveaux de référence (µg/kg poids sec)								
N1	25	25	50	25	50	50	25	500
N2	50	50	100	50	100	100	50	1000

Tableau 4.26 : résultats d'analyse des polychlorobiphényles dans les sédiments superficiels

DARSE 2 MEDIANE		Butylétains (ng/g pds sec)				Phénylétains (ng/g pds sec)			
Echantillons	Humidité (%)	MBT	DBT	TBT	BT Tot	MPhT	DPhT	TPhT	PT tot
DM.1	33	<0,45	<0,45	24	24	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.2	24	22	<0,45	<0,45	22	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.3	36	86	<0,45	<0,45	86	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.4	39	117	34	<0,45	151	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.5	41	134	<0,45	<0,45	134	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.6	41	121	<0,45	<0,45	121	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.7	43	169	<0,45	<0,45	169	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.8	37	130	<0,45	<0,45	130	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.9	36	100	<0,45	<0,45	100	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.10	30	174	<0,45	<0,45	174	<0,45	<0,45	<0,45	/
DM.11	33	202	<0,45	<0,45	202	<0,45	<0,45	<0,45	/
DARSE 2 SUD									
DS.1	41	205	<0,45	<0,45	205	69	<0,45	<0,45	69
DS.2	31	115	<0,45	<0,45	115	35	<0,45	<0,45	35
DS.3	29	150	<0,45	<0,45	150	12	<0,45	<0,45	12
DS.4	27	132	<0,45	<0,45	132	<0,45	<0,45	<0,45	/
DS.5	29	133	<0,45	<0,45	133	53	<0,45	<0,45	53
DS.6	36	118	<0,45	10	128	<0,45	<0,45	<0,45	/
DS.7	31	103	<0,45	<0,45	103	<0,45	<0,45	<0,45	/
CHENAL D'ACCES									
CA.1	42	90	<0,45	<0,45	90	<0,45	<0,45	<0,45	/
CA.2	44	104	<0,45	<0,45	104	<0,45	<0,45	<0,45	/
CA.3	46	121	<0,45	<0,45	121	<0,45	<0,45	<0,45	/
CA.4	42	116	<0,45	<0,45	116	64	<0,45	<0,45	64

Tableau 4.27 : résultats d'analyse des organoétains dans les sédiments superficiels

DARSE 2 MEDIANE				
	Fraction fine (< 0,063 mm)	Sable (0,063 - 2 mm)	Gravier (> 2 mm)	P50*
Echantillons	(%)	(%)	(%)	(mm)
DM.1	62,2	37,6	0,19	0,116
DM.2	57,06	42,44	0,5	0,134
DM.3	68,42	31,32	0,26	0,123
DM.4	81,19	18,45	0,36	0,038
DM.5	83,15	15,45	1,4	0,135
DM.6	84,98	14,65	0,37	0,148
DM.7	83,13	16,45	0,42	0,139
DM.8	85,87	13,65	0,48	0,155
DM.9	80,76	18,8	0,43	0,137
DM.10	72,13	26,05	1,82	0,165
DM.11	63,75	34,08	2,18	0,149
DARSE 2 SUD				
DS.1	93,3	6,65	0,05	0,114
DS.2	80,45	19,38	0,17	0,12
DS.3	80,4	18,11	1,49	0,135
DS.4	67,76	31,48	0,76	0,046
DS.5	65,93	33,7	0,37	0,13
DS.6	61	38,38	0,63	0,124
DS.7	62,07	37,64	0,29	0,121
CHENAL D'ACCES				
CA.1	90,43	9,2	0,37	0,091
CA.2	86,01	13,57	0,42	0,093
CA.3	78,72	21,09	0,18	0,11
CA.4	79,52	20,33	0,15	0,111
P50* : taille médiane des particules				

Tableau 4.28 : résultats d'analyse granulométrique des échantillons de sédiments superficiels

DARSE 2 MEDIANE													
	MS	Densité	COP	Al	As	Cd	Cr Tot	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Echantillons	(%)	(20°C)	(% sec)	(%)	(mg/kg poids sec)								
6085 (0,8-1,7)	74,7	1,79	0,9	4,1	10	< 0,1	45	12	< 0,05	23	18	57	
6085 (2,7-3,7)	73,4	1,81	0,9	3,7	9,3	< 0,1	46	12	< 0,05	22	15	54	
6091	73,6	1,81	1,1	3,9	15	< 0,1	46	13	0,06	24	14	57	
6102	71,9	1,8	1,1	3,5	22	< 0,1	39	11	< 0,05	20	14	49	
DARSE 2 SUD													
6054	70,8	1,78	1,2	4,4	13	< 0,1	54	16	< 0,05	27	24	69	
6063	76,6	1,87	1,5	4,4	15	< 0,1	41	14	0,08	25	15	59	
6073	75,8	1,87	0,7	4	11	< 0,1	39	12	0,085	22	31	61	
CHENAL D'ACCES													
6042	74,2	1,92	1	4,2	12	< 0,1	52	14	< 0,05	25	18	61	
6049	77,8	1,9	0,3	3	9,2	< 0,1	36	6	< 0,05	14	11	37	
Niveaux de référence					As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
(mg/kg poids sec)					N1	25	1,2	90	45	0,4	37	100	276
					N2	50	2,4	180	90	0,8	74	200	552

DARSE 2 MEDIANE								
	CB 028	CB 052	CB 101	CB 118	CB 138	CB 153	CB 180	Somme PCB
Echantillons	(µg/kg poids sec)							
6085 (0,8-1,7)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6085 (1,7-3,7)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6091	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6102	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DARSE 2 SUD								
6054	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6063	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6073	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
CHENAL D'ACCES								
6042	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
6049	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Niveaux de référence (µg/kg poids sec)								
N1	25	25	50	25	50	50	25	500
N2	50	50	100	50	100	100	50	1000

Tableaux 4.29 : résultats d'analyse des métaux et PCB dans les sédiments profonds

DARSE 2 MEDIANE																	
	Fluoranthene	Fluorene	Bz(a)anthrac	Bz(ah)anthrac	B(b)fluorenth	B(k)fluoranth	B(a)pyrene	B(ghi)peryl	Indenopyr	Acenaphthyl	Acenaphth	Anthrac	Chrys	Naphtal	Phenanthr	Pyr	Tot HA
Echantillons	(mg/kg poids sec)																
6085 (0,8)	0,015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	0,01	0,026
6085 (1,7)	0,017	0,006	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	0,01	0,035
6091	0,013	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	0,01	0,024
6102	0,018	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	0,01	0,032
DARSE 2 SUD																	
6054	0,057	0,011	0,033	0,006	0,018	0,013	0,021	0,021	0,013	<0,1	<0,005	0,021	0,056	<0,1	<0,005	0,04	0,307
6063	0,031	0,006	0,009	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	0,006	0,014	<0,1	<0,005	0,02	0,086
6073	0,033	0,009	0,016	<0,005	0,008	0,009	0,014	0,012	0,011	<0,1	<0,005	0,010	0,020	<0,1	<0,005	0,03	0,172
CHENAL D'ACCES																	
6042	0,026	<0,005	0,013	<0,005	0,007	0,005	0,008	0,01	0,006	<0,1	<0,005	0,007	0,002	0,2	0,007	0,02	0,311
6049	0,019	0,008	0,008	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,1	<0,005	0,008	0,012	<0,1	<0,005	0,01	0,073

Tableau 4.30 : résultats d'analyse des hydrocarbures polyaromatiques dans les sédiments profonds

DARSE 2 MEDIANE		Butylétains (ng/g pds sec)				Phénylétains (ng/g pds sec)			
Echantillons	Humidité (%)	MBT	DBT	TBT	BT Tot	MPhT	DPhT	TPhT	PT tot
6085 (0,8-1,7)	26,8	46	< 5	27,7	< 78,7	< 14	< 5	< 5	< 24
6085 (2,7-3,7)	32,6	32,6	< 5	< 5	< 42,6	< 14	< 5	< 5	< 24
6091	28,8	48,8	< 5	< 5	< 58,8	< 14	< 5	< 5	< 24
6102	33	41,7	< 5	< 5	< 51,7	< 14	< 5	< 5	< 24
DARSE 2 SUD									
6054	30,6	43,1	< 5	< 5	< 53,1	< 14	< 5	< 5	< 24
6063	26,8	28,6	< 5	< 5	< 38,6	< 14	< 5	< 5	< 24
6073	14,5	14,5	< 5	< 5	< 24,5	< 14	< 5	< 5	< 24
CHENAL D'ACCES									
6042	23	14,7	< 5	< 5	< 24,7	< 14	< 5	< 5	< 24
6049	25	26,5	< 5	< 5	< 36,5	< 14	< 5	< 5	< 24

DARSE 2 MEDIANE		Fraction fine (< 0,063 mm)	Sable (0,063 - 2 mm)	Gravier (> 2 mm)	P50*
Echantillons	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)
6085 (0,8-1,7)	89,47	10,53	0	0,035	
6085 (2,7-3,7)	95,61	4,39	0	0,033	
6091	90,93	8,9	0,16	0,034	
6102	59,65	38,77	1,59	0,052	
DARSE 2 SUD					
6054	93,08	6,7	0,22	0,033	
6063	71,48	26,4	2,11	0,044	
6073	94,92	5,08	0	0,033	
CHENAL D'ACCES					
6042	88,19	11,28	0,53	0,035	
6049	37,35	62,65	0	0,075	
P50* : taille médiane des particules					

Tableaux 4.31 : résultats d'analyse granulométrique et des organoétains dans les sédiments profonds

4.3.3.1 - Interprétation

Benne preneuse

- Densité et matières sèches²⁶ (cf. Tableau 4.24)

Les densités sont comprises entre 1,56 (échantillon CA.3) et 1,78 (échantillons DS.4 et DS.5). Les pourcentages bruts de matières sèches sont compris entre 57,3 (échantillon CA.1) et 71,2 (échantillon DS.4). Plus ce pourcentage est élevé, plus la densité est importante. Les caractéristiques granulométriques des échantillons sont très proches, donc les densités sont de même ordre. Le sédiment est très humide et donc faiblement rigide.

- Carbone Organique Particulaire (COP) (cf. Tableau 4.24)

Généralité : la matière organique est constituée de carbone. Cette matière est une surface absorbante importante pour les ions métalliques et forme des complexes (métal/complexant) en général stables.

Les pourcentages en poids sec sont compris entre 0,9 (échantillons DM.3 et DM.11) et 2,2 (échantillons CA.3 et CA.2). Ces valeurs sont faibles et indiquent une faible teneur en élément organique particulaire du sédiment superficiel. La productivité des eaux est faible et l'influence des rejets industriels dans la darse 2 est très localisée au champ proche des exutoires (CREOCEAN, 1997). A titre de comparaison des pourcentages compris entre 0,8 et 8,6 ont été mesurés dans le Bassin de la Grande Joliette et le Bassin d'Arenc à Marseille (BETEREM/EDF SUD INGÉNIERIE, juillet 1992).

- Aluminium (cf. Tableau 4.24)

Généralité : l'aluminium est présent à l'état naturel dans les sédiments marins. Dans les milieux non perturbés, il peut servir d'élément de référence pour comparer les teneurs en contaminants métalliques de sédiments aux mêmes caractéristiques physiques mais de sites différents.

Les pourcentages varient de 3,1 (échantillon DS.2) à 6,0 (échantillon DM.9). Ces valeurs sont « normales » pour des sédiments très fins. Il n'y a pas d'apports perceptibles des activités industrialo- portuaires.

- Contaminants métalliques (cf. Tableau 4.24)

Généralité : certains éléments métalliques (cuivre, chrome, nickel, zinc), présents à l'état de traces sont essentiels, mais en quantités minimes, pour les organismes vivants. L'augmentation de leur concentration peut aboutir à des phénomènes de toxicité. D'autres éléments (Pb, Hg, Cd) ne sont pas nécessaires et ne peuvent produire que des effets toxiques.

Pour l'ensemble des métaux analysés, les teneurs dans les sédiments superficiels sont faibles et inférieures aux niveaux de référence N1 de l'Arrêté du 14 juin

²⁶ Méthode d'analyse NF ISO 11465 pour la matière sèche et méthode interne à l'Institut Pasteur de Lille pour l'analyse de la densité

2000. Ces valeurs seuils caractérisent la qualité chimique du matériau. Ainsi, au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel est jugé neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental.

- **Organoétains**²⁷ (cf. Tableau 4.27)

Généralité : Les dérivés organiques de l'étain ou organoétains retrouvés dans les sédiments marins ont pour origine les peintures antisalissures. Ils sont utilisés comme matière active des peintures et destinés à empêcher les fixations biologiques sur les coques. Ces applications biocides concernent seulement les triorganoétains. Le MBT et le DBT sont des sous-produits de dégradation du TBT.

Un seul échantillon sur 22 présente une teneur notable en triorganoétains (tributylétain et triphénylétain) : DM.1 ([TBT] = 24 µg/kg de poids sec). Pour les autres échantillons, les tri-organoétains ne sont pas dosés (inférieurs à la limite de détection) ou sont très proches de la limite de détection. Cette valeur est peu élevée, mais compte tenu du fait que les autres stations ne sont pas contaminées, elle est peut-être due à une erreur analytique car aucun sous produits de dégradation n'a été dosé. Aucun échantillon ne contient de phénylétain. Un seul échantillon sur 22 contient du DBT ([DM.4] = 34 µg/kg de poids sec). La quasi totalité des échantillons est contaminée en MBT (exception de l'échantillon (DM.1). La déalkylation du TBT et la formation de MBT comme intermédiaire (sous-produit final : SnIV) de la biodégradation par les microorganismes serait à l'origine des concentrations observées. Le MBT est la forme organique la moins toxique mais la plus soluble des dérivés du TBT.

- Congénères de polychlorobiphényles (PCB)(cf. Tableau 4.26)

Généralité : les PCB sont des hydrocarbures halogénés (chlorés) de haut poids moléculaire. Ce sont des produits fabriqués et ne sont donc pas présents naturellement dans l'environnement. Ces substances sont très fortement accumulées par les organismes marins.

Les teneurs en PCB sont inférieures pour tous les congénères et les échantillons à la limite de détection (10 µg/kg poids sec) de la méthode d'analyse utilisée (séparation et détection par Chromatographie Gazeuse / PFPD). La limite de détection est inférieure aux niveaux de référence N1 de l'arrêté du 14 juin 2000.

- Hydrocarbures polyaromatiques (HAP)(cf. Tableau 4.25)

Généralité : La plupart des HAP présents dans le milieu naturel sont essentiellement des composés fournis par la pétrochimie. Bon nombre d'entre eux sont toxiques pour les organismes vivants. Il existe très peu de valeurs comparatives permettant d'évaluer si une concentration en HAP est toxique ou non. Quelques valeurs comparatives de bruit de fond pour ces 16 HAP dans les diverses mers du globe sont rapportées dans la bibliographie : 35 à 60 µg/kg en Atlantique/Manche, 35 à 45 µg/kg en Méditerranée et 300 à 3000 µg/kg en Mer du Nord (cf. étude CREOCEAN, décembre 2000).

²⁷ MBT = monobuthylétain ; DBT= dibuthylétain ; TBT = tributylétain

Les valeurs en HAP total, relevées en darse 2, sont toutes supérieures au bruit de fond méditerranéen.

Sur les 16 molécules HAP analysées, 6 substances présentent des teneurs équivalentes ou inférieures aux limites de détection : fluorene, Bz(ah)anthracene, acenaphthylene, acenaphthene, anthracene, naphthalene. Les 10 autres composés sont détectés en faibles concentrations dans les sédiments, démontrant ainsi que les activités industrialo-portuaires (raffinage) ont une faible influence sur la qualité des sédiments.

Cependant, on remarque que deux échantillons sur 22 (CA.2 et CA.3, cf. **carte de la Figure 4.3a**) sont très légèrement supérieurs au seuil de consommation des coquillages de 500 µg/kg de poids sec au delà duquel leur consommation est interdite. Ce seuil est calculé pour une consommation humaine et est donc très sévère (cf. étude CREOCEAN, décembre 2000), néanmoins une ingestion de mollusques bivalves enfouis dans ce sédiment pourrait représenter un risque pour un consommateur.

- **Granulométrie (cf. Tableau 4.28)**

L'analyse granulométrique des sédiments superficiels de la darse 2 et son chenal d'accès révèle une fraction dominante de particules fines (< 0,063 mm) : entre 57,06% (échantillon DM.2) à 96,3% (échantillon DS.1). Le complément est représenté par les sables, les graviers ne dépassant pas 2,18% (échantillon DM.11).

D'après la classification de Larssonneur (cf. ALLEN, 1977 et **Tableau 4.32** ci-dessous), le substrat meuble superficiel à draguer est de type vases sableuses (9/22 échantillons) et vases (13/22 échantillons).

Type de dépôt	Caractérisation
Cailloutis	Plus de 50% de galets
Graviers	Plus de 50% de galets et de graviers
Sables	Plus de 50% de fraction < 2 mm ; moins de 5% de fines
Sables graveleux	Plus de 15% de graviers
Sables grossiers	Fraction 0,5 – 2 mm dominante
Sables fins	Fraction 0,2 – 0,5 mm dominante
Sablons	Fraction 0,05 – 0,2 mm dominante
Sédiments vaseux	Plus de 5% de fines
Sables vaseux	De 5 à 25% de fines
Vases sableuses	De 25 à 75% de fines
Vases	Plus de 75% de fines

Tableau 4.32 : caractérisation sédimentaire d'après Larssonneur**Carottier**

- Densité et matières sèches (cf. Tableau 4.29)

Les matériaux sont légèrement plus denses (moins d'eau) donc plus rigides que ceux échantillonnés en surface. Les pourcentages bruts de matières sèches sont compris entre 74,2 (échantillon n°6042) et 77,8 (échantillon n°6049).

- Carbone Organique Particulaire (COP) (cf. Tableau 4.29)

Les pourcentages en poids sec sont compris entre 1,0 (échantillon n°6042) et 1,5 (échantillon n°6063). Ces valeurs sont faibles et indiquent une faible teneur en élément organique particulaire du sédiment profond. La teneur en particule organique des horizons profonds et de surface est donc homogène.

- Aluminium (cf. Tableau 4.29)

Les pourcentages varient de 3,0 (échantillon n°6049) à 4,4 (échantillons n°6054 et n°6063). Ces valeurs sont « normales » pour des sédiments très fins.

- Contaminants métalliques (cf. Tableau 4.29)

Pour l'ensemble des composés analysés, les teneurs sont très faibles et toutes inférieures aux niveaux N1 de l'Arrêté du 14 juin 2000. Quels que soient les horizons de matériaux fins échantillonnés et les stations échantillonnées, les épaisseurs à draguer ne sont pas contaminées en éléments métalliques.

- Organoétains (cf. Tableau 4.31)

Un seul échantillon présente une teneur remarquable en tributylétain : l'horizon 0,8 – 1,7 m du point n°6085 ([TBT] = 27,7 µg/kg de poids sec). Aucun échantillon ne contient de phénylétain. A cette même station, le TBT n'est pas dosé plus en profondeur : horizon 2,7 – 3,7 m.

La totalité des échantillons est contaminée en MBT.

- Congénères de polychlorobiphényles (PCB) (cf. Tableau 4.29)

Les teneurs en PCB sont inférieures pour tous les congénères et les échantillons à la limite de détection (10 µg/kg poids sec) de la méthode d'analyse utilisée. La limite de détection est inférieure aux niveaux de référence N1 de l'arrêté du 14 juin 2000.

- Hydrocarbures polyaromatiques (HAP) (cf. Tableau 4.30)

Sur les 16 molécules HAP analysées, 10 substances présentent des teneurs équivalentes ou inférieures aux limites de détection : fluorene, Bz(ah)anthracene, B(b) fluoranthène, B(k)fluoranthène, indenopyrène, acenaphthylene, acenaphthene,

anthracene, naphtalene, phenathrene. Les 6 autres composés sont détectés en faibles concentrations dans les sédiments profonds.

- **Granulométrie (cf. Tableau 4.31)**

L'analyse granulométrique des horizons de sédiments choisis dans les sondages carottés révèle une fraction dominante de particules fines (< 0,063 mm) : entre 37,35% (carotte n°6049 – 2,0- 2,7 m) à 95,61% (carotte n°6085 – 2,7- 3,7 m). Le complément est représenté par les sables, les graviers ne dépassant pas 2,11% (carotte n°6063 – 4,6- 5,6 m).

4.3.3.1 - Synthèse

Les matériaux extraits de la darse 2 et du chenal d'accès sont des matériaux meubles constitués essentiellement d'argiles, de limons et de sables de diverses granulométries (grains fins à moyens).

Pour l'ensemble des contaminants, les concentrations relevées sont homogènes sur toute l'épaisseur des matériaux dragués.

Pour les éléments métalliques et composés traces (PCB et congénères) mentionnés dans l'Arrêté de Juin 2000, les concentrations sont inférieures aux niveaux de référence N1 pour lesquels l'immersion en mer est considérée comme chimiquement neutre ou négligeable.

Pour les autres polluants (TBT et sous-produits, hydrocarbures polycycliques aromatiques) pour lesquels aucun référentiel réglementaire n'est disponible, les concentrations sont faibles.

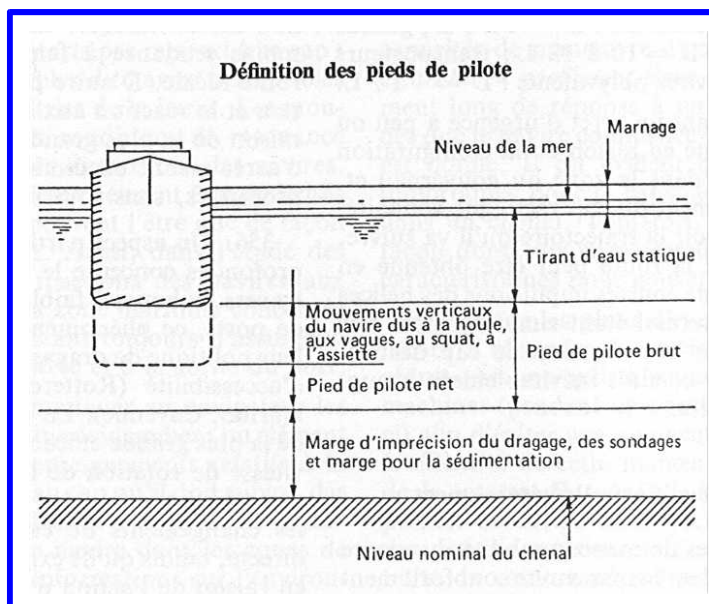
4.4 - DESCRIPTION DES TRAVAUX

4.4.1 - Nature et volume des travaux

Préambule

Les épaisseurs à draguer sur l'emprise du projet, donc les volumes à extraire, tiennent compte des conditions d'évolution des navires notamment en fonction de leur orientation par rapport au lit du vent principal, le Mistral. En effet, les conditions d'évolution du navire (vitesse rapide dans le chenal, très lente en approche de quai), les caractéristiques du navire et la profondeur d'eau induisent des conditions d'enfoncement du navire qu'il faut intégrer dans la profondeur à draguer.

La détermination des profondeurs à draguer a donc été calculée lors de chaque phase en fonction du Tirant d'Eau Admissible (TEA), de l'enfoncement du navire de référence pour des vitesses maximales de vents dominants, de la tolérance minimale de dragage (tient compte de la nature des matériaux de dragage) et du pied de pilote qui tient compte des conditions de navigation (notamment les mouvements dûs à la houle et au squat. Pied de pilote fixé à la valeur minimale de 1 mètre).



Les travaux envisagés par le Port Autonome de Marseille sont :

le dragage de la darse 2 et du chenal d'accès à cette darse,

l'élimination des matériaux extraits par dépôt d'une partie à terre et l'immersion en mer d'une autre partie.

Les superficies, les cotes maximales actuelles et futures, et les épaisseurs draguées sont rapportées ci-après :

	Surface (m ²)	Cote actuelle (m)	Cote future (m)*			Epaisseur draguée cumulée (m)*		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
Chenal d'accès	633 614	14,0	18,0	18,0	19,5	4,0	4,0	5,5
Darse 2 partie Sud	857 970	14,0	17,0	17,0	18,5	3,0	3,0	4,5
Darse 2 partie Médiane	651 230	12,0	12,0	17,0	18,5	0	5,0	6,5
TOTAL	2 142 814							

*P : Phases (cf. § 4.4.2 – période(s) et calendrier des opérations de dragage)

Au total, 17 850 000 m³ de matériaux sont à extraire sur une superficie de 2 142 813 m², dont 16 750 000 m³ de sables et de vases, et environ 1 100 000 m³ de cailloutis de Crau, décomposés par phases et par sites comme suit :

	Sable et vase (m ³)	Cailloutis (m ³)	TOTAL (m ³)
PHASE 1			
Chenal d'accès	1 675 000	0	1 675 000
Darse 2 partie Sud	4 325 000	0	4 325 000
PHASE 2			
Darse 2 partie Médiane	5 985 000	300 000	6 285 000
PHASE 3			
Chenal d'accès	2 745 000	0	2 745 000
Darse 2 partie Sud	1 550 000	0	1 550 000
Darse 2 partie Médiane	470 000	800 000	1 270 000

(suite)

	Sable et vase (m ³)	Cailloutis (m ³)	TOTAL (m ³)
TOTAL chenal d'accès	4 420 000	0	4 420 000
TOTAL darse 2 partie Sud	5 875 000	0	5 875 000
TOTAL darse 2 partie Médiane	6 455 000	1 100 000	7 555 000
TOTAL darse 2 et chenal	16 750 000	1 100 000	17 850 000

Le devenir envisagé des matériaux est :

pour les cailloutis : valorisation dans les remblaiements des quais et Terre- Plein Fos 2XL,

pour les sédiments meubles : objet de l'analyse multi- critères (AMC, cf. § 4.5).

4.4.2 - Période(s) et calendrier des opérations de dragage

Les travaux pourront débuter dès le **4^{ème} trimestre 2002**.

La durée des travaux est estimée à **20 - 22 mois** au total, répartis en **trois** phases (cf. Figure 4.17) :

Phase 1 : **8 mois** (31 - 32 semaines) entre fin 2002 et fin 2003 ;

La phase 1 consistera en des travaux d'approfondissement à 18 m du chenal et à 17 m de la darse 2 partie Sud pour atteindre un tirant d'eau admissible de 14,5 m.

Le chenal large dans sa partie Est de 260 m sera élargi progressivement jusqu'à atteindre une largeur de 430 m en entrée de darse 2.

La largeur de l'emprise à draguer au droit du quai du terminal à conteneur actuel est fixée à 500 m.

Phase 2 : **6 mois** (24 semaines) de fin 2005 à début 2006.

La phase 2 consistera en des travaux d'approfondissement à 17 m de la darse 2 partie Médiane pour atteindre un tirant d'eau admissible de 14,5 m au droit du quai de Fos 2XL.

Dans cette phase sera mise en place la zone d'évitage de diamètre 700 m.

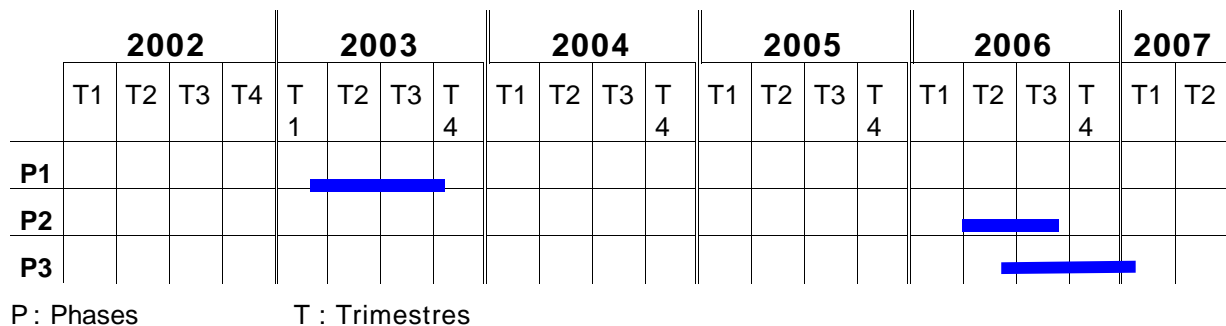
Phase 3 : **7 mois** (24 - 25 semaines) à partir de 2006.

La phase 3 consistera en des travaux d'approfondissement à 19,5 m du chenal et à 18,5 m de la darse 2 parties Sud et Médiane pour atteindre un tirant d'eau admissible de 16 m au droit du quai de Fos 2XL.

L'échéance de cette 3^{ème} phase restera à déterminer plus précisément au moment de la prise en considération du projet Fos 2XL.

Les deux dernières phases restent conditionnées par l'approbation du projet Fos 2XL.

Les phases 2 et 3 pourront se dérouler (cf. calendrier ci-dessous) simultanément ou successivement selon les contraintes imposées par l'évolution des navires porte-conteneurs en service au moment des travaux (à partir de 2006).



4.4.3 - Techniques de dragage

L'extraction des sédiments par succion hydraulique est la technique qui sera employée pour le dragage des matériaux dans la darse 2 et le chenal d'accès.

Ce procédé de dragage consiste à provoquer la mise en suspension des matériaux à draguer dans un courant d'eau, courant lui même généré par la dépression formée dans le bec d'aspiration de l'élinde. Le mélange eau - sédiment est ensuite refoulé dans le puits de la drague (cas de l'immersion en mer) ou dans une conduite flottante qui le transporte directement à terre dans des chambres de dépôt.

Le dragage par succion est la meilleure technique pour limiter la diffusion des particules fines dans l'environnement proche (quelques dizaines de mètres) du site dragué.

La surverse de l'eau décantée des particules sédimentaires de la drague vers la darse ou le chenal ne sera pas pratiquée. La mixture draguée sera entièrement refoulée dans le puits.

Cette technique qui a pour effet de diluer les matériaux lors de l'aspiration, favorise cependant l'adsorption de particules argileuses dans le puits de la drague (phénomène de floculation entre les particules fines et plus grossières [sables]).

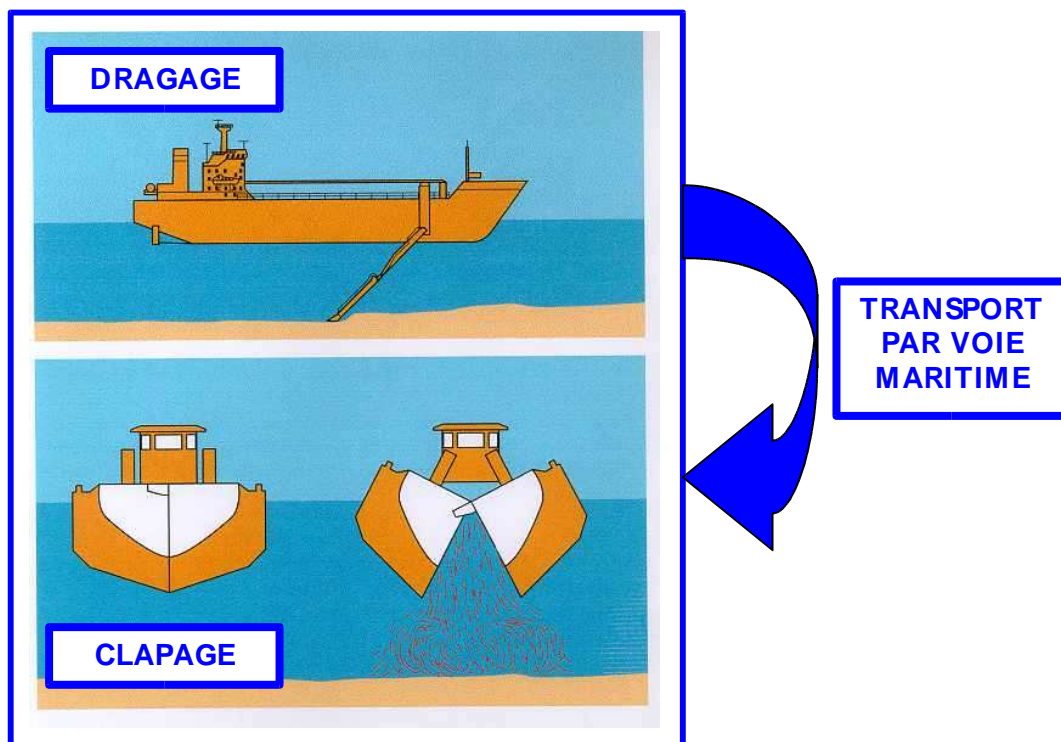
Le type de drague qui serait utilisé devrait être une drague aspiratrice en marche (voir caractéristiques techniques ci-dessous). Cet engin est automoteur et autoporteur. Le dragage se fait donc en avançant. Une fois le puits à déblais de la drague rempli, c'est cette même drague qui met le cap sur le site d'immersion. Elle peut également refouler hydrauliquement les déblais à terre.

Figure 4.17 Importance des travaux de dragage dans la darse 2 et le chenal d'accès

Caractéristiques principales moyenne d'une drague aspiratrice en marche

Dimensions	Longueur # 125 m - Largeur # 20 m - Tirant d'eau max. en charge # 8,7 m
Vitesse de déplacement lors du dragage	2 à 4 nœuds
Vitesse de déplacement lors du transport	12 nœuds
Dimension de(s) (l')élinde(s) latérale(s)	Longueur # 35 m – diamètre # 1 100 mm
Débit d'aspiration	2 000 m³/h par élinde (x2)
Profondeur de sillons	0,5 à 1 m
Mixture pompée	# 1/3 de matériaux - 2/3 eau
Densité des matériaux	Vases : 1,1 à 1,25 - Sables : 1,25 à 1,6 - Cailloutis de Crau : 2,1 à 2,4
Volume du puits	7 200 m³
Temps nécessaire pour remplir le puits	# 1 h 50 min (x 2 élinde)
Temps nécessaire pour vider le puits	< 5 min
Utilisation de la drague lors du dragage	Etat de la mer admissible : 3 m de houle (houle modérée)
Utilisation de la drague lors du clapage	Etat de la mer admissible : > 3 m de houle (houle modérée à grande)

Plusieurs engins de ce type (cf. dessin ci-dessous) pourraient être utilisés simultanément ou en rotation (un sur site et l'autre en transport / clapage).



4.4.4 - Devenir des matériaux dragués. Techniques employées

Les techniques employées, en plus d'être parmi les plus économiques, présentent des avantages aux plans opérationnel et environnemental :

flexibilité par rapport à la circulation maritime (par comparaison avec une drague stationnaire),

extraction par génératrice de matières en suspension (par comparaison avec une drague à godets par exemple),

immersion peu génératrice de matières en suspension (par comparaison avec une immersion par conduite par exemple).

4.4.4.1 - Acheminement des matériaux

Le mode d'acheminement des déblais est conditionné par les caractéristiques des produits dragués et leurs destinations.

Plusieurs modes sont, a priori envisageables :

Le refoulement hydraulique à terre des mixtures stockées en puits. Cet équipement est plus courant sur des dragues de faible à moyenne capacités qui sont équipées de pompes de reprises et de refoulement accouplées en série,

Le transport terrestre par des camions de type semi-remorques équipés de bennes étanches (10 à 15 m³). Ce mode de transport peut entraîner des contraintes importantes dues notamment : à la mise en place de dispositifs complémentaires de transfert vers les camions si celui-ci ne peut s'effectuer directement ou au nombre de trajets à effectuer en utilisant les voies portuaires ou extérieures entre les lieux de dragage et de dépôt.

L'immersion en mer par des navires équipés de l'appareillage de dragage et de puits de stockage des mixtures ou par des chalands de transport venant s'accoupler à la drague dans le lequel sont refoulés les matériaux aspirés par l'(les) élince(s). Différents dispositifs de vidage parmi les plus courants peuvent être utilisés : des clapets ou portes s'ouvrant autour d'un axe longitudinal, de soupapes circulaires à axe vertical ou des portes coulissantes, de demi-coques articulées avec ouverture longitudinale.

4.4.4.2 - Immersion et dépôt des matériaux

Le dispositif de vidage du(des) puits par le fond est variable selon la drague ; les dispositifs proposés sont décrits précédemment. Compte tenu des capacités de stockage envisagées, élevées, les navires utilisés seront très probablement des embarcations à demi-coques articulées ou fendables.

Le dépôt des matériaux à terre se fera par refoulement dans des canalisations de la mixture draguée. En partie, la canalisation sera disposée en mer sur des

ouvrages flottants. Ce refoulement de la mixture devra être effectuée dans des casiers de confinement adaptés aux capacités des matériaux à recueillir. Les ouvrages de décantation devront être également parfaitement dimensionnés pour que les eaux clarifiées issues de la décantation des particules soient évacuées en mer en fond de darse 2 avec des teneurs en matières en suspension peu supérieures à celles mesurées dans le cadre du réseau REPOM (hydro).

4.4.5 - Justification du choix des techniques retenues

4.4.5.1 - Mode de dragage

Le mode de dragage projeté est hydraulique par aspiration en marche.

Le mode de dragage choisi limite la diffusion de la fraction fine dans le champ proche de l'élinde. La crème de vase, les sables fins et la couche néphéloïde (interface eau / sédiment) sont en quasi totalité aspirés par le pompage. Ce critère est un point très important du choix de la technique en raison de la proximité de l'anse de Carteau et du risque toxique qui pourrait résulter d'une forte turbidité pour les élevages aquacoles de mollusques bivalves filtreurs.

Les dragues aspiratrices en marche employées sont très souples et facilement manœuvrables et sont donc recommandées dans des sites où le trafic maritime est intense. De par leur grande capacité de stockage, ces dragues sont adaptées à des chantiers où les volumes considérés sont élevés. En conséquence, les délais des travaux sont plus courts que pour d'autres procédés et les coûts réduits.

La nature des matériaux (sables et argiles molles) permet un rendement optimum de la drague aspiratrice (LAHUEC, 1974). Le matériel est meuble et ne nécessite pas de désagrégation à l'aspiration et les déblais semblent assez denses pour se déposer aisément dans le(les) puits (LAHUEC, 1974). Il n'y a pas de surverse de la mixture.

Si cette technique a pour effet de diluer les matériaux lors de l'aspiration, elle favorise cependant l'adsorption de particules argileuses dans le puits de la drague (phénomène de floculation).

Le mode de dragage permet un contrôle précis de la cote à atteindre.

Cette technique est difficilement compatible avec un objectif de réutilisation des matériaux fins afin d'obtenir un remblai stable.

4.4.5.2 - Mode de transport

Le transport est maritime : navire et refoulement hydraulique.

Le transport maritime est le seul mode possible pour une immersion au large du Golfe de Fos. Ce transport est le plus souvent effectué par les mêmes navires qui font le dragage, plus rarement par des navires filles qui viennent se positionner à

proximité de la drague et dans lequel sont déversés par refoulement les matériaux.

Il ne perturbe pas le trafic maritime et en particulier le fonctionnement du port. Il évite les fuites de produits dans l'environnement et donc garanti une bonne sécurité et fiabilité, limite le nombre de mouvements des navires, permet le maintien des opérations de dragage lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises.

Pour les matériaux plus grossiers (cailloutis de Crau) qui seront dragués selon le même mode, mais qui seront déposés à terre, le refoulement hydraulique par canalisation sera réalisé. Ce refoulement par canalisation concernera des petites distances, car :

les matériaux seront moins fluides (cailloutis de Crau peu cimentés [zone de circulation de la nappe]),

le site de dépôt envisagé est localisé à proximité du terminal à conteneurs en darse 2, soit celui du projet Fos 2XL.

Le refoulement à terre dans des enceintes ou casiers sera de plus courte durée que le précédent mode compte tenu du plus faible volume de matériaux concernés.

4.4.5.3 - Mode de clapage

Le mode de clapage par les gros navires projetés permet une immersion instantanée de l'ensemble des produits stockés ; cela :

favorise l'adsorption de particules argileuses dans le puits de la drague (phénomène de floculation entre les particules fines et plus grossières [sables]).

diminue la formation de panache turbide en maintenant une cohésion du matériel durant la coulée,

augmente la précision du dépôt et facilite le contrôle de l'épaisseur.

Ce contrôle permet, pour les volumes considérés, de mieux gérer les dépôts successifs des matériaux et ainsi de respecter les recommandations formulées pour limiter les impacts de la mise en dépôt.

Ce type de navire permet également de mieux résister à des états de mer pour lesquels de plus petites embarcations resteraient à quai (immobilisation) augmentant de ce fait les coûts de chantier.

4.5 - CHOIX DU DEVENIR DES MATERIAUX FINS DRAGUES. ANALYSE MULTICRITERES. JUSTIFICATIONS

4.5.1 - Généralités

Toutes décisions devant intégrer des points de vue opposés et contradictoires ne peut résulter que d'un arbitrage entre les représentants de ces points de vue. Cette analyse correspond à l'approche multi-critères dont l'objectif est de balayer de façon exhaustive l'ensemble des effets potentiels et de mettre en évidence les principaux impacts en décrivant les processus dynamiques associés à ceux-ci.

Dans le cadre de l'étude d'impact, la méthode d'évaluation environnementale nous permet de prendre en compte tous les paramètres intervenant dans le projet ainsi que les paramètres impactés par ce projet.

Cette méthode d'évaluation environnementale est constituée de deux étapes :

Première étape : élaboration des scénarios

Mise en place de plusieurs scénarios qui vont synthétiser les divers choix possibles relatifs au projet. A partir de la construction de ces scénarios, on définit ainsi les paramètres.

Deuxième étape : identification et analyse des impacts sur l'environnement

Il y a analyse des caractéristiques du projet. La confrontation des résultats permet la reconnaissance des impacts quels qu'ils soient ainsi que leurs estimations et leurs relations.

La mise en œuvre de l'Analyse MultiCritères (AMC) se partage en trois phases :

le rassemblement des données techniques par les experts, c'est à dire les éléments de matrice des données brutes ;

la définition des valeurs des N pondérations w_i par les acteurs ;

le calcul.

4.5.2 - Méthodologie

L'AMC se base à partir d'une matrice des données brutes ; les scénarios seront donc définis par des vecteurs qui seront utilisés dans le calcul de la méthode (**cf. Tableau 4.33**) :

ligne i = paramètre i (i allant de 1 à N) ;

colonne j = scénario j (j allant de 1 à Z).

SCÉNARIOS = variables

<i>P A R A M È T R E S = i n d i v i d u s</i>		1	...	j	...	Z
	1					
	...					
	i			Observatio n X_{ij}		
	...					
	N					

Tableau 4.33 : présentation de la matrice des données

La définition des scénarios est élaborée en concertation avec le maître d'ouvrage.

La définition des paramètres se fait par le consultant qui ne prend en compte que ceux entrant dans le projet et étant impactés par le projet. Il attribue en fonction de ses recherches soit une valeur quantitative, soit une valeur qualitative à ces paramètres.

La méthode choisie, **Somme 1**, se déroule en deux étapes :

1) La transformation de la matrice des données brutes [X] en matrice standardisée [Y] (tous les éléments ont une valeur comprise entre 0 et 1) selon les formules suivantes :

➔ Si le paramètre est positif (valorisation, etc.) avec $i = 1, \dots, N$

$$y_i = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}$$

➔ Si le paramètre est négatif (pollution, etc.) avec $i = 1, \dots, N$

$$y_i = 1 - \frac{x_i^{\text{m}} - x_i^{\text{n}}}{x_i^{\text{n}} - x_i^{\text{m}}}$$

2) la définition des valeurs des N pondérations w_i pour chaque paramètre par les acteurs avec :

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1$$

Il faut donc pondérer les paramètres en fonction des préférences et c'est cette phase qui est la plus importante de la méthode **Somme 1**.

Ainsi, pour être le plus juste et le moins arbitraire possible, plusieurs simulations seront réalisées en affectant 3 pondérations différentes :

La première simulation est celle d'un "Œil neutre", c'est à dire qu'il n'y a pas de classement : tous les paramètres ont la même importance. Le total découle alors de la seule base objective des données techniques.

La seconde simulation consiste à prendre les préférences d'un "Œil socio-économiste", elle favorise les paramètres économiques par rapport aux autres.

La dernière simulation enfin, considère les préférences d'un "Œil environnementaliste", elle favorise les paramètres environnementaux par rapport aux autres.

La méthode va ainsi donner un classement des scénarios. Il en ressortira un scénario dominant, c'est à dire qu'il sera le mieux classé pour le nombre de simulations effectuées.

3) On applique la méthode de la sommation : il suffit d'appliquer les poids aux observations pour obtenir un classement par scénario j selon la formule suivante :

$$z_j = \sum_{i=1}^N w_i \cdot y_i$$

Le scénario dominant est celui étant le mieux classé au sens des préférences de tous les intervenants.

Deux analyses multicritères seront réalisées :

une première concernant le devenir des matériaux fins de dragage,

une seconde concernant le choix du site d'immersion.

4.5.3 - Résultats

4.5.3.1 - 1^{ère} AMC. Devenir des matériaux fins : dépôt et / ou immersion

Il faut noter que le Port Autonome de Marseille a envisagé une alternative au dépôt des matériaux meubles dragués qui n'est pas traitée dans cette première analyse. En effet, une première évaluation d'une solution de dépôt sur le They de La Gracieuse a montré que cette solution n'était pas pertinente.

La flèche de La Gracieuse joue un rôle majeur dans la protection du Golfe de Fos, et notamment des darses, contre l'agression des houles du large. L'intérêt de la protection de cette digue naturelle sableuse contre l'érosion est souligné par les orientations du SDAGE. Des études assez récentes montrent que son bilan sédimentaire est positif mais contrasté : elle bénéficie d'un apport annuel d'environ 250 000 m³ de matériaux meubles par le Rhône, mais est fragilisée par l'action des vents et des houles en son milieu. La flèche progresse naturellement de 25 m par an vers l'intérieur du golfe (dans la direction principale de la Flèche) et de 1 à 2 m par "rolling" transversal.

Ces phénomènes posent plusieurs problèmes à moyen ou long terme, notamment en matière de protection des accès nautiques aux bassins Ouest du PAM. Compte tenu de la direction principale et de l'intensité de la progression de la Flèche, c'est l'interférence avec le chenal d'accès au golfe qui est à craindre dans l'immédiat. C'est pourquoi des immersions d'épaves ont été effectuées pour réduire la progression longitudinale à environ 10 m par an. L'érosion éolienne de la dune ou le "rolling" sont moins critiques dans la mesure où le *fetch* des vents du large sera toujours coupé par la présence de hauts fonds en amont des bassins. Le risque d'une évolution rapide en cas de scission de la Flèche n'est cependant pas à négliger. C'est dans cette optique que des aménagements de restauration du cordon dunaire ont été réalisés antérieurement.

Les matériaux meubles pourraient-ils être valorisés sur le They de La Gracieuse ?

Un dépôt de quelques dizaines de milliers de m³ sur la flèche avec implantation de ganivelles pour assurer la continuité de la dune déjà aménagée pourrait être envisagé. Ceci n'aurait pas d'influence particulière sur le transit littoral. En revanche, un apport massif sur le They présenterait un risque important d'aggravation du transit et donc d'intrusion rapide de la flèche sableuse dans le chenal d'accès au Golfe. Les capacités de valorisation des matériaux sur le They de La Gracieuse (quelques dizaines de milliers de m³) ne sont donc pas à l'échelle des volumes de matériaux extraits (plusieurs millions de m³). Par ailleurs, l'évaluation de l'aptitude des matériaux extraits à constituer un remblai **ou un rechargement stable est également défavorable à cette destination.**

4.5.3.1.1 - Choix des scénarios

Concernant le devenir des matériaux fins de dragage, trois scénarios ont été pris en considération :

1. le remblaiement à terre de la ZAC du Caban (1 062 ha) par l'ensemble des matériaux fins dragués, soit 16 750 000 m³. Cela implique de remblayer des secteurs de la ZAC ayant pour certains des sensibilités écologiques notables (salin et étang du Caban, étang de l'Oiseau et Enfores) à une altitude de +3 m NGF.

Le dépôt d'importants volumes de matériaux très fins sur le They de la Gracieuse ne semblant pas pertinent, le Port Autonome de Marseille a souhaité envisager la possibilité de déposer tout ou partie de ces matériaux sur la Zone d'Aménagement Concertée (ZAC) du Caban par anticipation d'une possible valorisation économique ultérieure des terrains ainsi remblayés. En effet, compte tenu du faible niveau altimétrique général de cette zone, il sera nécessaire avant toute initiative de développement d'activités industrialo- portuaires de rehausser par remblaiement cette zone inondable.

Secteur	Altitude actuelle	Surface	Capacité d'accueil
Salin du Relai	+0,8 <i>NGF</i>	405 ha	9 000 000 m ³
Remblai du Caban	+1 <i>NGF</i>	106 ha	2 000 000 m ³
Remblai de l'Oiseau	+2,5 <i>NGF</i>	300 ha	1 500 000 m ³
Etang de l'Oiseau et Salin du Caban Nord	+1 <i>NGF</i>	150 ha	3 000 000 m ³
Enfores	+0,5 <i>NGF</i>	101 ha	2 500 000 m ³

- l'immersion de l'ensemble des matériaux fins dragués (16 750 000 m³) au large du Golfe de Fos (profondeur supérieure à 30 m [profondeur minimale considérée dans la seconde AMC] et superficie de la zone d'immersion d'environ 5 km²),
- une solution mixte consistant à déposer une partie des sédiments fins (9 000 000 m³) sur Salin du Relai (jusqu'à l'altitude moyenne de +0,8 *NGF*), soit la zone écologique qui présente la plus faible sensibilité (cf. **Figure 4.14**) et à immerger l'autre partie (7 750 000 m³) en mer à des profondeurs supérieures à 30 m (profondeur minimale envisageable pour une immersion compte tenu des contraintes d'usages et environnementales).

4.5.3.1.2 - Choix des paramètres

Pour définir le choix du projet final, l'analyse multicritères doit considérer tous les paramètres entrant en compte dans la définition du projet.

Concernant le devenir des matériaux fins de dragage, **30 paramètres** ont été recensés. Certains d'entre eux représentent des impacts temporaires et d'autres des impacts permanents (cf. **Tableau 4.34**).

La grille a été remplie lors d'une concertation entre le maître d'ouvrage et le bureau d'études :

certains paramètres ont été codifiés par une échelle d'appréciation :

0 = aucun 1 = faible 2 = moyen 3 = important

d'autres ont été remplis par des valeurs brutes découlant d'études préliminaires ou d'estimations quantitatives.

CRITÈRES		PARAMETRES	n°	CABAN	IMMERSION	CABAN + IMMERSION
TRAVAU X	Déroulement des travaux	Difficulté des moyens techniques à mettre en œuvre	A11	3	1	2
		Sécurité du site et des travaux	A12	2	1	3
		Difficulté de la conduite des travaux	A13	2	1	2
	Echelles de temps	Préparation des travaux (passations de marchés, ...)	A21	2	1	2
		Echelle de temps des travaux	A22	3	1	2
PROJET	Réglementation	Etudes réglementaires à prendre en compte	A31	1	1	2
		Délais à prendre en compte	A32	2	1	2
		Communes concernées par l'enquête publique (nombre)	A33	2	1	2
		Zones protégées / sensibles sur le site (nombre)	A34	2	1	2
	Coûts	Coûts des travaux	A41	3	2	2
		Coûts des mesures compensatoires	A42	2	2	1
	Surveillance	Coûts de la surveillance des risques	A51	1	1	1
		Durée de la surveillance	A52	1	1	1
IMPACT S	Milieu	Modification des paramètres physiques	B11	0	1	1
		Modification des paramètres chimiques	B12	0	0	0
		Modification de la morphologie du site	B13	3	2	2
		Valorisation environnementale du milieu <i>TEMPORAIRE</i>	B14T	0	2	1
		Valorisation environnementale du milieu <i>PERMANENT</i>	B14P	1	0	2
IMPACT S	Faune et flore	Impacts sur les peuplements <i>TEMPORAIRE</i>	B21T	3	2	2
		Impacts sur les peuplements <i>PERMANENT</i>	B21P	2	1	1
		Impacts sur les espèces protégées	B22	2	1	0
		Impacts sur les habitats et écosystèmes	B23	3	2	1
	Paysage	Modification du paysage	B31	2	0	1
	Activités professionnelle s	Manque à gagner <i>TEMPORAIRE</i>	B41T	0	1	1
		Manque à gagner <i>PERMANENT</i>	B41P	0	1	0
		Gène des travaux sur le trafic (maritime et terrestre)	B42	1	1	1
		Contraintes d'usages <i>TEMPORAIRE</i>	B43T	0	1	1
		Contraintes d'usages <i>PERMANENT</i>	B43P	0	1	0
	Activités de loisirs	Valorisation foncière du site	B44	2	0	1
		Dénaturation d'un site de loisirs	B51	3	1	1
		Gène des travaux aux activités de loisir <i>TEMPORAIRE</i>	B52T	0	1	1
		Gène des travaux aux activités de loisir <i>PERMANENT</i>	B52P	0	0	0
	Nuisances	Valorisation touristique des sites à proximité	B53	1	0	0
		Apparition d'une nuisance olfactive <i>TEMPORAIRE</i>	B61T	2	0	1
		Apparition d'une nuisance olfactive <i>PERMANENT</i>	B61P	0	0	0
	Apparition d'une nuisance sonore	B62	0	0	0	

Tableau 4.34 : paramètres considérés pour l'AMC concernant le devenir des matériaux fins dragués

4.5.3.1.3 - Choix des pondérations

Une première distinction a été portée sur les effets temporaires et permanents de certains impacts : nous les avons donc pondéré de la manière suivante :

Temporaire = ¼ Permanent = ¾

La pondération "Œil neutre" consiste à appliquer le même poids aux 30 paramètres :

Wi = 1/30

La pondération "Œil Socio-économiste" consiste à appliquer à 17 paramètres choisis par le Port Autonome de Marseille et le bureau d'études (critères "Travaux", "Projet" et « Activités professionnelles") un poids de ¾ et au reste un poids de ¼.

La pondération "Œil environnementaliste" consiste à appliquer à 13 paramètres choisis par le Port Autonome de Marseille et le bureau d'études (critères "Impacts" sauf "Activités professionnelles"), un poids de ¾ et au reste un poids de ¼.

4.5.3.1.4 - Résultats

Les résultats de la première AMC sont reportés dans le **Tableau 4.35**.

SIMULATIONS		SCENARIOS		
		CABAN	IMMERSION	CABAN + IMMERSION
1	Neutre	0,238	0,517	0,383
2	Socio-économie	0,250	0,550	0,338
3	Environnement	0,232	0,521	0,434

3 ^{ème} place	1 ^{ère} place	2 ^{ème} place
------------------------	------------------------	------------------------

Tableau 4.35 : résultats de l'AMC

La solution du remblaiement de la totalité de l'Etang du Caban est le scénario le moins satisfaisant.

L'impact :

sur le paysage (disparition des structures des salins et création d'un paysage de steppes sans aucune végétation,),

sur l'avifaune (destruction des berges et vasières, destruction temporaire des habitats en attendant la nouvelle végétation,),

le coût et le déroulement des travaux (création de casiers, franchissement de la nationale, empaillage, aménagements à terme coûteux compte tenu de la qualité mécanique des matériaux),

représentent des contraintes très fortes pour le choix de ce scénario.

La solution du remblaiement d'une partie de l'Etang du Caban, soit les salins du Relai associé à l'immersion en mer arrive toujours en deuxième position dans l'analyse multicritères, avec cependant une « certaine proximité » des valeurs avec la troisième simulation. Cette solution serait donc moins préjudiciable d'un point de vue environnemental que la précédente. L'impact sur le paysage serait modéré et il n'y aurait pas de destruction d'entités ou d'associations remarquables. C'est l'immersion en mer au large du Golfe de Fos d'une partie (7 750 000 m³) des matériaux fins dragués, qui favorise le classement de ce scénario au dépend du précédent. Les incidences environnementales, réglementaires et économiques sont plus favorables pour ce scénario mixte.

Enfin, la solution satisfaisant au mieux tous les regards, environnemental, socio-économique et neutre est celle de l'immersion de la totalité (16 750 000 m³) des matériaux fins de dragage : c'est elle qui recueille systématiquement la première place.

Le choix de ce devenir unique favorise le déroulement et la durée des travaux ; les contraintes réglementaires sont moins nombreuses pour un(des) site(s) d'immersion localisé(s) au large du Golfe de Fos et les incidences environnementales sont plus modérées. Il existe cependant une contrainte d'usage dominante dans la zone d'immersion considérée : la pêche professionnelle au chalut de fond. L'impact sur cet usage est, compte tenu de la qualité des produits immergés, le seul critère défavorable au choix de ce scénario.

4.5.3.1.5 - Synthèse

Les avantages et inconvénients de chaque scénario sont repris ci-après :

SCENARIO	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>DEPOT SUR L'ETANG ET LES SALINS DU CABAN</p> <p>(Volume déposé : 16,75 M m³)</p>	<p>Possible valorisation à long terme pour l'extension de la Zone Industrielle de Fos</p> <p>Pas d'impact sur le milieu maritime</p>	<p>Impact fort sur le paysage (disparition des structures végétales naturelles des salins et création d'un paysage sans végétation)</p> <p>Impact fort sur l'avifaune nicheuse et de passage (destruction des berges et vasières, destruction temporaire des habitats en attendant la nouvelle végétation)</p> <p>Coût et déroulement des travaux de remblaiement</p> <p>Valorisation incertaine</p> <p>Destruction d'une espèce végétale protégée</p>
<p>IMMERSION EN MER</p> <p>(Volume déposé : 16,75 M m³)</p>	<p>Incidences environnementales modérées.</p> <p>Faibles incidences permanentes : rehaussement du fond de plus de 1 mètre sur quelques km²</p> <p>Scénario le plus économique</p>	<p>Impact temporaire sur le site de dépôt assez fort.</p> <p>Contrainte d'usage : pêche professionnelle au chalut de fond : perturbation de la ressource</p>
<p>SOLUTION MIXTE</p> <p>(Dépôt de 9 M m³ sur les Salins du Relai et 7,75 M m³ en mer)</p>	<p>Impact minimisé sur les 2 zones de dépôts</p>	<p>Impact sur le paysage modéré puisque pas de destruction d'associations remarquables</p> <p>Contrainte d'usage : pêche</p> <p>Coût et déroulement des travaux</p> <p>Valorisation incertaine</p>
<p>La solution satisfaisant au mieux les aspects environnementaux et le coût des opérations est l'immersion de la totalité des matériaux fins</p>		

4.5.3.2 - 2^{ème} AMC. Choix du site d'immersion

4.5.3.2.1 - Choix des scénarios

Les scénarios ou variantes sont choisis (cf. **Tableau 4.36**) en accord avec le Port Autonome de Marseille, car il tient du bureau d'études et du maître d'œuvre de se concerter pour leurs définitions (cf. **Figure 4.18**).

Tous les sites d'immersion envisagés sont localisés à l'extérieur du Golfe de Fos, en sortie pour les plus proches (scénario n°1 [S1]) et à la limite du plateau sous-marin du Delta du Rhône pour le scénario n°6 (S6).

La superficie considérée pour chaque site d'immersion est identique, soit un cercle de 5 km² (diamètre de 2 250 mètres) (cf. **Figure 4.18**).

Pour quelques scénarios (n°5 [S5] et n°6 [S6]) avec des profondeurs moyennes élevées (supérieures ou égales à 70 m), un seul site d'immersion a été considéré. Ce choix a été fait pour comparer les incidences des scénarios S5 (1 site à 70 m) et S4 (2 sites à 70 m) et également pour comparer ces scénarios S5 et S4 à S6 (120 m) pour lequel 1 seul site a été retenu, car les contraintes environnementales et d'usages sont très réduites pour ce scénario et ne justifient pas de répartir les matériaux fins sur une plus grande superficie (2 sites).

Aucun scénario n'envisage d'immersion à l'intérieur du Golfe de Fos, car les profondeurs sont trop faibles et les volumes de matériaux fins à immerger trop importants (16 750 000 m³). Les contraintes d'usages et réglementaires, le trafic maritime de commerce, la conchyliculture dans l'Anse de Carreau, la pêche professionnelle dans les petits fonds et les activités de loisirs (baignades, plongées), les zones protégées, sont trop fortes pour que de tels scénarios puissent être considérés.

Les différents scénarios choisis l'ont été afin de comparer les incidences économiques et environnementales des paramètres que le maître d'ouvrage peut faire varier pour chaque site de dépôt :

distance par rapport au point d'extraction (site de dragage),

nombre de site(s) (intérêts pour : la recolonisation par les peuplements benthiques, éviter un retour à la côte fonction des conditions météorologiques),

profondeur du(des) site(s).

Scénario	Description	Localisation	Commentaires
----------	-------------	--------------	--------------

S1	Large Golfe de Fos	Plateau sous-marin du Delta du Rhône	Deux sites de clapage localisés par 30 mètres de fond choisis selon les conditions hydrodynamiques
-----------	--------------------	--------------------------------------	--

(suite)

Scénario	Description	Localisation	Commentaires
S2	Large Golfe de Fos	Plateau sous-marin du Delta du Rhône	Deux sites de clapage localisés par 50 mètres de fond choisis selon les conditions hydrodynamiques
S3	Large Golfe de Fos	Plateau sous-marin du Delta du Rhône	Deux sites de clapage : 50 mètres et 70 mètres choisis selon les conditions hydrodynamiques
S4	Large Golfe de Fos	Plateau sous-marin du Delta du Rhône	Deux sites de clapage par 70 mètres de fond pouvant être choisis selon les conditions hydrodynamiques
S5	Large Golfe de Fos	Plateau sous-marin du Delta du Rhône	Un seul site de clapage par une profondeur de 70 mètres
S6	Large Golfe de Fos	Plateau sous-marin du Delta du Rhône	Un site de clapage par une profondeur supérieure à 120 mètres, soit en limite du plateau sous-marin du Delta du Rhône

Tableau 4.36 : présentation des scénarios

4.5.3.2.2 - *Choix des paramètres*

Concernant le choix des paramètres, cela découle de l'analyse de l'état initial vue au chapitre 4.2 – ETAT INITIAL. Nous différencierons le critère environnemental, du critère physique du site et du critère économique selon les paramètres.

4.5.3.2.3 - *Définition de la matrice de données brutes*

La matrice (cf. **Tableau 4.37**), pour être la plus juste possible, a été remplie par les données récoltées au cours de l'état initial. Aussi, les données peuvent être issues :

- de mesures *in situ*,
- de résultats de modélisation,
- de données bibliographiques,

et d'enquêtes sur le terrain.

Certains paramètres du **Tableau 4.37** avec une astérisque (*) sont caractérisés par une échelle de sensibilité variant entre 0 et 3. Cela concerne la sensibilité des espèces marines et du milieu :

0	Pas sensibles	ou	Absence d'impacts ;
1	Peu sensibles	ou	Faibles impacts ;
2	Moyennement sensibles	ou	Impacts moyens ;
3	Très sensibles	ou	Forts impacts.

Deux sites sont proposés pour les clapages du scénario n°3 selon les conditions hydrodynamiques, 50 m et 70 m. Pour l'AMC, ce scénario, le seul avec 2 sites d'immersion à différentes profondeurs, la profondeur la plus contraignante (la plus faible) a été considérée.

Figure 4.18 : localisation des différents sites de clapages (cf. 6 scénarios de l'analyse multicritères)

CRITÈRES	PARAMÈTRES	SCÉNARIOS						
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	
PHYSIQUE	P 1	Capacité à recevoir les matériaux de dragage <i>Volume de clapage possible en millions de m³</i>	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
	P 2	Distance darse 2 et chenal / sites de clapage <i>En km</i>	10,1	12,3	12,3	15,7	15,7	40,5
	P 3	Pente du fond <i>Pente en %</i>	1,0	0,7	0,7	0,5	0,5	4
	P 4	Profondeur maximale du site <i>En m</i>	30	50	70	70	70	250
	P 5	Eloignement des sites de clapage par rapport à la côte <i>En km</i>	3,5	4,5	5	6	6	27
	P 6	Concentration moyenne en MES dans l'eau de surface <i>En mg/l</i>	9	9	9	9	9	5
	P 7	Granulométrie moyenne des sédiments <i>Taille en µm</i>	100	100	100	50	50	10
ENVIRONNEMENTAL	E 1	Distance du rejet par rapport à des zones protégées ou sensibles <i>En km</i>	0,5	1	2	4	4	27
	E 2	Espèces animales ou végétales marines protégées <i>Sensibilité des espèces présentes ou impacts potentiels *</i>	3	2	1	0	0	0
	E 3	Faune benthique marine <i>Sensibilité des espèces présentes ou impacts potentiels *</i>	3	2	2	1	2	1
	E 4	Faune démersale marine <i>Sensibilité des espèces présentes ou impacts potentiels *</i>	3	2	2	1	2	1
	E 5	Flore marine <i>Sensibilité des espèces présentes ou impacts potentiels *</i>	3	2	2	1	2	1
	E 6	Qualité générale de l'eau <i>1= bonne 2=moyenne 3=mauvaise</i>	2	2	2	2	2	1
	E 7	Qualité chimique du substrat <i>1= bonne 2=moyenne 3=mauvaise</i>	2	2	2	1	1	1
SOCIO-ECONOMIQUE	S1	Activités de pêche : ressources halieutiques** <i>Sensibilité de la ressource ou impacts potentiels *</i>	3	3	2	1	2	0
	S2	Distance du rejet par rapport à des zones conchylicoles <i>En km</i>	7,5	10	10	15	15	50
	S3	Activités touristiques (baignade) <i>1= faible 2=moyen 3=fort</i>	3	2	2	1	1	1
	S4	Coûts de transport des matériaux jusqu'au(x) site(s) de clapage <i>1= faible 2=moyen 3=fort</i>	1	1	2	2	2	3
	S5	Coûts des mesures compensatoires <i>1= faible 2=moyen 3=fort</i>	3	3	2	2	2	1
	S6	Echelle de temps des travaux de dragage et d'immersion <i>En mois</i>	22	22	22	22	22	22
	S7	Durée du programme de surveillance <i>1= faible 2=moyen 3=fort</i>	3	3	3	2	2	1

*Voir échelle de sensibilité en page précédente

**En relation avec la recolonisation benthique liée à surface impactée et la fréquence du dépôt (donc l'épaisseur du dépôt)

Tableau 4.37 : présentation de la matrice des données brutes

4.5.3.2.4 - Résultats

1^{ère} simulation

Pour cette simulation, nous prenons tous les poids égaux, c'est-à-dire :

$$P1=P2=P3=P4=P5=P6=P7 = E1=E2=E3=E4=E5=E6=E7 = S1=S2=S3=S4=S5=S6=S7$$

$$\text{Soit : } w_i = 1/21$$

2^{ème} simulation

Pour cette deuxième simulation, nous supposons la participation d'un intervenant dont les préférences sont les suivantes :

$$S1=S2=S3=S4=S5=S6=S7 > P1=P2=P3=P4=P5=P6=P7 = E1=E2=E3=E4=E5=E6=E7$$

et

"tous les paramètres économiques valent 3 fois les paramètres physiques et les paramètres environnementaux, soit un poids de $\frac{3}{4}$ appliqué aux paramètres socio-économiques et au reste un poids de $\frac{1}{4}$ "

3^{ème} simulation

Pour cette troisième simulation, nous supposons la participation d'un intervenant dont les préférences sont les suivantes :

$$E1=E2=E3=E4=E5=E6=E7 > P1=P2=P3=P4=P5=P6=P7 = S1=S2=S3=S4=S5=S6=S7$$

et

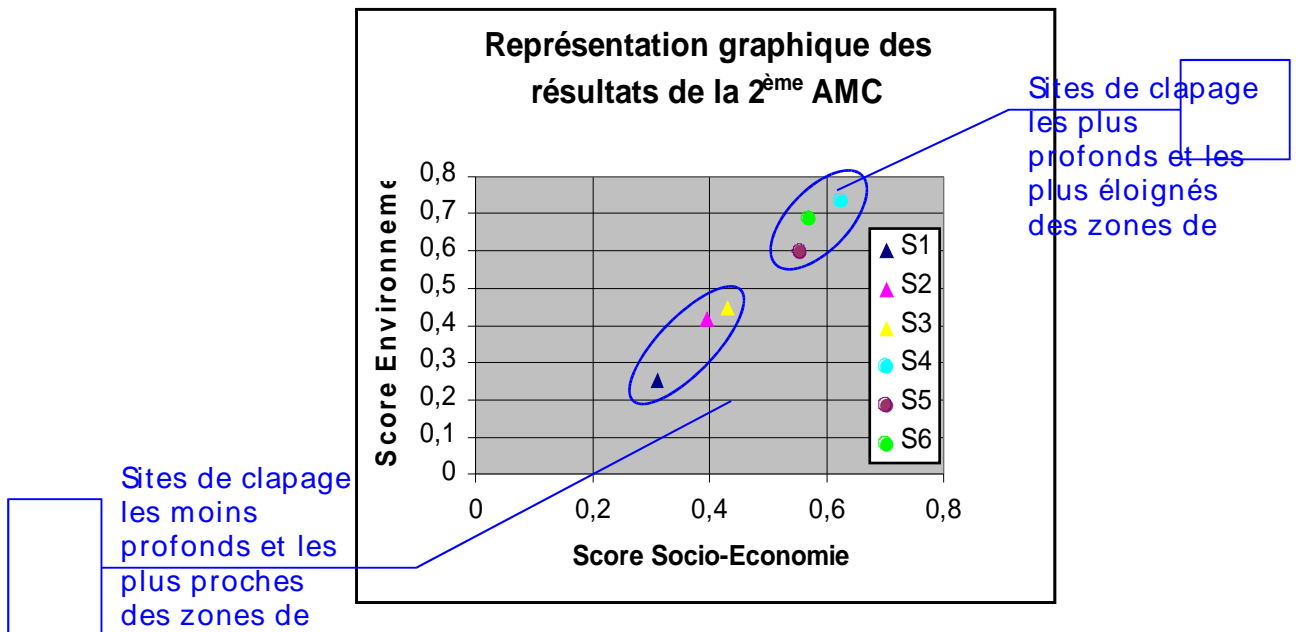
"tous les paramètres environnementaux valent 3 fois les paramètres physiques et les paramètres socio-économiques soit un poids de $\frac{3}{4}$ appliqué aux paramètres environnementaux et au reste un poids de $\frac{1}{4}$ "

La matrice (cf. **Tableau 4.38**) de synthèse propose les différents classements des scénarios étudiés :

	NEUTRE	SOCIO-ÉCONOMISTE	ENVIRONNEMENTALISTE
S1	0,327	0,310	0,253
S2	0,428	0,396	0,418
S3	0,453	0,430	0,449
S4	0,664	0,626	0,734
S5	0,577	0,555	0,596
S6	0,571	0,571	0,686
	1^{ère} place : S4	1^{ère} place : S4	1^{ère} place : S4
	2^{ème} place : S5	2^{ème} place : S6	2^{ème} place : S6

Tableau 4.38 : tableau de synthèse de classement des scénarios par l'analyse multicritères

Les trois scénarios les plus favorables retiennent des immersions en mer dans les plus grands fonds testés. Le diagramme ci dessous représentant les scores environnement et socio-économie de chaque scénario montre bien l'écart entre les 2 groupes.



Les contraintes d'usages, tels le trafic maritime et la pêche professionnelle, comme les incidences environnementales sur les peuplements faunistiques et floristiques, y sont les plus faibles.

Au regard de la méthode d'évaluation choisie, le scénario qui satisfait au mieux les acteurs de la zone côtière considérée quant au choix du site d'immersion, au large du Golfe de Fos, est le scénario n°4, quelle que soit la simulation effectuée. Le classement favorable au scénario n°4 par rapport aux scénarios n°1 à n°3, pour une pondération favorable aux paramètres socio-économiques est étonnante (proximité du site de clapage = faible coût des opérations), mais s'explique par le fait que malgré la pondération, un poids important est encore donné aux critères environnementaux.

Ce sont essentiellement les impacts environnementaux des opérations de clapage qui ont été considérés pour choisir le site d'immersion des matériaux fins.

Pour la première simulation (neutralité des pondérations), le scénario S4 est légèrement plus favorable que le scénario S5, classé en seconde position. Cette différence s'explique uniquement par l'impact moins préjudiciable aux organismes *benthiques* et *démersaux* du choix de deux sites (scénario S4) pour le dépôt de matériaux fins. En effet, le choix de 2 sites permet de diminuer la fréquence des apports en un même point et ainsi facilite le retour des organismes vivants par une :

diminution de l'épaisseur des dépôts (1 clapage équivaut à un dépôt de quelques millimètres). Inférieur au cm, ce dépôt permettra donc la migration verticale possible pour les organismes enfouis dans le sédiment,

diminution de la *turbidité* sur le fond et du colmatage des branchies des espèces filtreuses dans la zone non directement impactée par le dépôt (hors recouvrement). Cela permettra une migration horizontale des peuplements *benthiques* filtreurs (mollusques bivalves et certains *polychètes*), mais également des organismes détritivores et *dépositivores* (pour lesquels des apports trop élevés en particules de petites tailles sont préjudiciables à leur nutrition).

Pour la seconde simulation (pondération favorable aux critères socio-économiques), il y a un resserrement des valeurs pour les trois scénarios S4, S6 et S5, même si le premier est toujours le plus favorable. L'explication de la différence entre S4 et S5 est aisée car, les données brutes (cf. **Tableau 4.37**) sont identiques pour 6 critères socio-économiques (exception du critère « Activités de pêche : ressources halieutiques ») ; alors que les données brutes des critères environnementaux sont très défavorables au scénario S5. La pondération ne peut masquer complètement l'influence de ces critères. Entre

les scénarios S4 et S6, il y a resserrement des valeurs entre la 1^{ère} simulation et la 2^{ème} simulation. Néanmoins, l'éloignement du site de clapage par rapport à la zone de dragage et le coût inhérent à cette distance sont préjudiciables au classement de ce scénario.

Pour la troisième simulation (pondération favorable aux critères environnementaux), le scénario S4 est classé bien devant les deux scénarios S6 et S5. Le choix de 2 sites (S4) par rapport à 1 seul site (S5), tous les 3 à même profondeur permet d'amoinrir les incidences envers les peuplements vivants en diminuant ainsi le facteur stress dû au nombre de clapage en un même point. Enfin et malgré la pondération adoptée dans cette simulation, si l'immersion en zone profonde (S6) est légèrement plus favorable d'un point de vue environnemental et des usages (pêche, zone protégée), la distance à la côte pénalise fortement le classement du scénario S6.

4.5.3.2.5 – Synthèse

Les avantages et inconvénients des 3 scénarios S4, S5 et S6 sont repris ci-après :

SCENARIO	AVANTAGES	INCONVENIENTS
S5 IMMERSION PAR 70 m sur 1 site de 5 km²	Risque minime de retour à la côte par diffusion dans la masse d'eau des particules fines	Epaisseur supérieure (par rapport à S4) et périmètre réduit du dépôt
S4 IMMERSION PAR 70 m sur 2 sites de 5 km², l'un	Risque de retour à la côte supprimé en choisissant 1 site en fonction des conditions de mer Diminution de la fréquence des apports en un même point (4 casiers par site) : recolonisation benthique facilitée Minimisation des incidences sur les zones chalutées (chalut de fond)	Gestion plus complexe des cycles de dépôt (selon les conditions météorologiques et de mer)
S6 IMMERSION PAR 120 m sur 1 site de 5 km²	Très faibles incidences environnementales : limite du plateau continental Très faibles incidences sur les usages : limite large de la zone de pêche	Présence de sable sur le fond : incompatibilité avec la nature vaseuse des matériaux clapés Eloignement du site et coût inhérent à l'opération
Le scénario qui satisfait au mieux les acteurs de la zone côtière considérée quant au choix de la profondeur et du nombre de sites de clapage est l'immersion par 70 m sur 2 sites		

4.6 - INCIDENCES DES OPERATIONS

Les effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement et les usages se manifesteront essentiellement pendant la phase du chantier de dragage / clapage.

Les périodes de travaux n'entraîneront pas d'effets significatifs sur l'environnement naturel des sites de clapage retenus ainsi que les usages traditionnels forts pratiqués dans le Golfe de Fos.

4.6.1 - Opérations de dragage

4.6.1.1 - Nature des matériaux à draguer

Les fonds de la darse 2 et du chenal d'accès sont essentiellement formés de matériaux de caractéristiques physiques homogènes : des sables et limons. Les études géotechniques réalisées par FUGRO France SA (cf. rapports et profils en date du 31 août 2001) ont permis de caractériser les substrats sous-marins avec de nombreux sondages réalisés à partir d'une barge sur toute l'emprise des travaux.

Ces sondages révèlent que :

dans le chenal d'accès, les fonds sont en moyenne de la surface vers le fond (14 à 20 m C.M.) constitués : d'argiles très molles, de limons sableux légèrement carbonatés, de sables fins, de limons sableux et d'argile légèrement limoneuse très molle,

dans la darse 2 (face aux quais du terminal à conteneurs), les fonds sont en moyenne de la surface vers le fond (13,5 à 19,5 m C.M.) constitués : d'argiles très molles, de sables fins, d'alternance de limons sableux / argileux, de sables moyens et d'argiles limoneuses. En quelques points (sondage n°6068 notamment) les graviers, galets et cailloutis de Crau (taille < 10 cm) sont atteints (à partir de 18,6 m C.M.).

Le substratum présente une grande homogénéité et est constitué en totalité de matériaux meubles et en très grande majorité de matériaux fins.

4.6.1.2 - Engins et techniques utilisés

Le creusement du chenal et de la darse aux cotes mentionnées dans le § 4.4.2 – Période(s) et calendrier des opérations de dragage, nécessitera l'emploi d'une drague hydraulique de type drague aspiratrice en marche. Le type d'engin dont les caractéristiques moyennes sont décrites dans le § 4.4.3 – Techniques de dragage, sera retenu à l'issue de l'appel d'offres lancé auprès d'entrepreneurs spécialisés dans les travaux maritimes.

La durée du chantier maritime est estimée à environ 20 - 22 mois, répartis sur 4-5 ans, en 3 phases :

1. 8 mois : approfondissement du chenal et de la darse 2 partie Sud.
2. 6 mois : approfondissement de la darse 2 partie Médiane.
3. 7 mois : approfondissement du chenal et de la darse 2 parties Sud et Médiane.

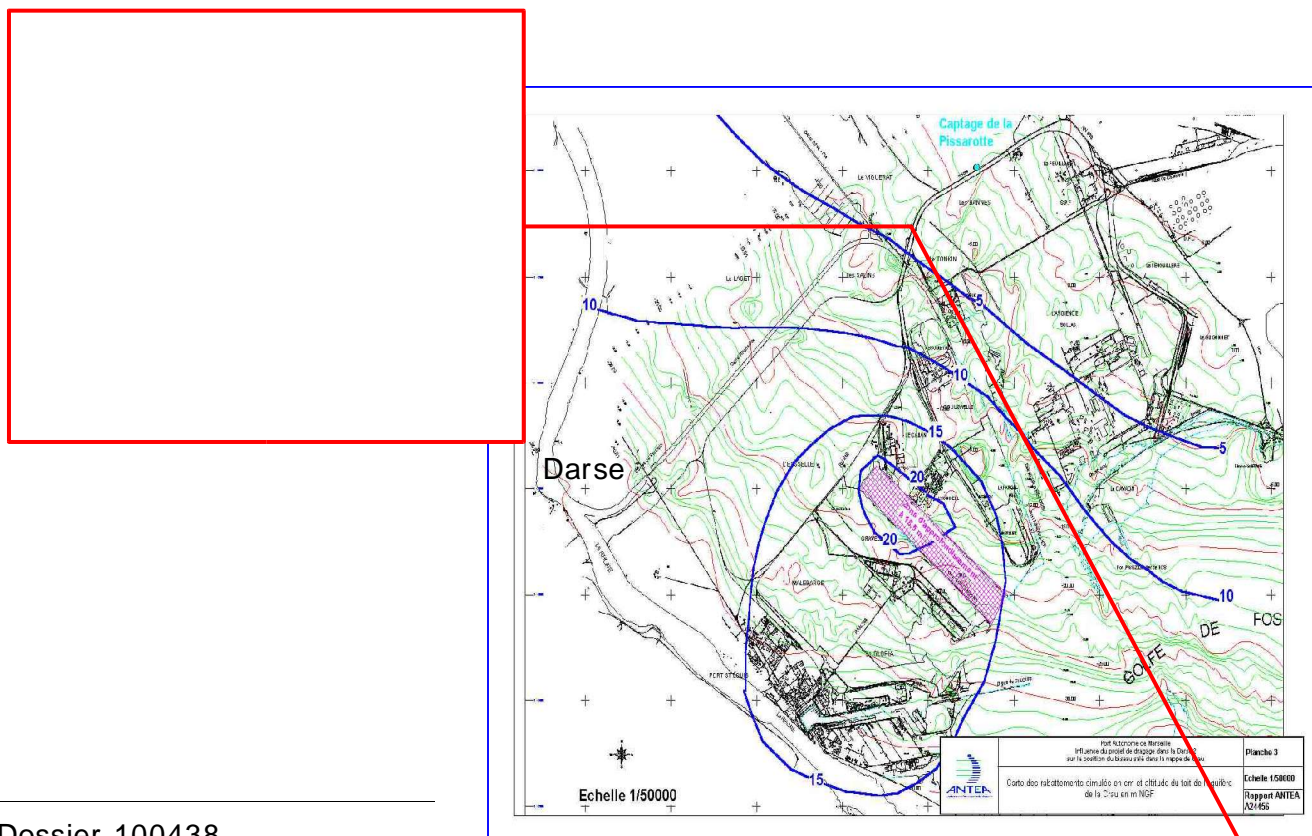
Les sédiments dragués seront déversés dans le(les) puits de la drague (ou autres : chaland, barge) et transportés vers les sites d'immersions en mer au large du Golfe de Fos.

4.6.1.3 - Effets du chantier

La darse 2 et son chenal de navigation sont essentiellement pratiqués pour le transport maritime vers le terminal conteneurs et les sites industriels du fond de darse. En conséquence, obligation est faite au port de maintenir des profondeurs d'accès adaptées aux navires y évoluant. Ce ne sont pas des zones naturelles.

4.6.1.3.1 - Effets sur l'hydrogéologie

La darse 2 est située au dessus de l'aquifère de la nappe de Crau, qui est captive car recouverte par des limons peu perméables (cf. rapport ANTEA, septembre 2001). Du fait des travaux de dragage envisagés, cette couche de limon va être extraite engendrant ainsi la mise en communication directe d'un



aquifère, dont la charge est légèrement positive (+0,1 à +0,6 m NGF), avec le milieu marin.

Le drainage de la nappe par la darse nouvellement draguée pourrait ainsi induire un rabattement qui se propagerait et provoquerait une évolution du biseau salé.

Afin de déterminer si cette évolution est acceptable ou négligeable par rapport à l'usage de la nappe, il a été procédé à une étude par modèle mathématique des modifications d'écoulement induites par le projet de dragage de la darse 2.

Cette étude a montré que l'impact de l'approfondissement de la darse sur la pression de l'aquifère serait limité au voisinage immédiat du projet (creusement de la darse 2) et imperceptible à proximité du captage de la Pissarotte ou plus au Nord dans la plaine de la Crau (voir carte ci-dessus).

Dans ces conditions et sur la base des données disponibles, le déplacement du biseau salé à l'intérieur des terres et au-delà de la zone d'émergence des Laurons sera imperceptible.

4.6.1.3.2 - Effets sur l'hydrodynamique

Les agents hydrodynamiques :

- *Les courants :*

Ils sont générés par les conditions de vents qui affectent le secteur du Golfe de Fos et sont contrôlés par la bathymétrie et la géométrie de la darse.

- *L'agitation :*

Elle est liée à la propagation des ondes de houles qui pénètrent dans la darse et sont localement amplifiées par la réflexion, la diffraction et la réfraction qu'elles subissent du fait de la géométrie de la darse et de sa bathymétrie.

Le transport sédimentaire associé :

Il concerne les particules en suspension dans la colonne d'eau et les particules transportées par charriage sur le fond. Il est initié et contrôlé par les agents hydrodynamiques régnant dans cette darse.

Influence des travaux :

L'impact d'un sillon de dragage est quasi nul tant sur la courantologie que sur l'agitation. Les conditions de transport sédimentaire ne seront donc pas perturbées d'un passage à un autre.

Influence après les travaux :

L'augmentation de la profondeur va modifier très sensiblement la géométrie globale de la zone. Les intensités de courants et la propagation de l'agitation en seront renforcées. Les conditions hydrodynamiques, lors des conditions de vents qui dans la situation actuelle génèrent des conditions de mer modérées, seront donc renforcées.

Le transit sédimentaire obéira à la même logique, la remobilisation des sédiments sera donc favorisée.

Le renforcement des conditions hydrodynamiques bien que réel ne sera toutefois pas de nature à modifier de façon radicale le fonctionnement hydrosédimentaire de cette zone.

4.6.1.3.3 - Augmentation de la turbidité

La dispersion d'une fraction des matériaux dragués semble improbable compte tenu de la technique de dragage employée : le dragage hydraulique par aspiration en marche. Cette technique permet de supprimer tous phénomènes de dispersion de la fraction fine des matériaux extraits et susceptibles d'atteindre des zones de re- dépôt plus ou moins lointaines.

Par comparaison, le passage d'une drague équipée d'une élinde traînante ne provoque pas de remise en suspension plus importante que celle générée par les navires de grandes capacités dont les hélices sont proches des fonds.

La surverse des eaux décantées dans le puits de la drague ne sera pas pratiquée. L'ensemble de la mixture sera conservé à bord jusqu'aux opérations de clapage.

4.6.1.3.4 - Effets dus à la qualité chimique des sédiments

Les matériaux dragués dans la darse 2 et le chenal d'accès sont dépourvus de concentrations notables en éléments contaminants métalliques et organiques. Les niveaux des éléments et composés traces considérés sont inférieurs aux valeurs de référence N1 (Arrêté Interministériel du 14 Juin 2000) et comparables aux bruits de fond géologique ; niveaux pour lesquels l'incidence chimique d'une immersion de ces matériaux est jugée neutre ou négligeable.

Les faibles concentrations en contaminants adsorbés aux particules draguées ne peuvent repartir (par resolubilisation ou par dispersion de particule) au milieu naturel avec la technique de dragage qui sera employée. En conséquence, la qualité des matériaux extraits ne représente pas un risque de contamination pour le site de dragage et son proche environnement.

4.6.1.3.5 - Effets sur les peuplements benthiques

Les organismes vivants dans les fonds de la darse 2 et le chenal d'accès sont peu diversifiés et peu abondants. Ils sont constitués essentiellement de vers et en surface de mollusques bivalves (la moule est la plus commune).

Les peuplements benthiques vagiles ou fixes des substrats meubles sur l'emprise des travaux de dragage seront détruits. Ceux vivants en fond de darse 2, ne seront pas perturbés directement (creusement) ou indirectement (forte suspension des particules fines) par les travaux. La colonisation par la faune fixée, des parois dures (moules, polychètes tels les spirographes) des appontements et des quais ne sera également pas modifiée.

Une période de 1 à 2 ans sera nécessaire à l'issue des travaux pour que les peuplements originels (mais non naturels) soient reconstitués. Cette période correspond au temps nécessaire pour que la couche superficielle du substrat se reconstitue à l'identique d'un point de vue granulométrie des particules et de l'enrichissement en matière organique.

4.6.1.3.6 - Effets sur les poissons

D'une façon générale, les poissons évitent les zones où la turbidité est importante mais supportent bien les variations de turbidité (le seuil critique où des effets nocifs sont constatés s'établit à 500 mg/l). Lors des travaux, les populations de poissons dérangées se déplaceront dans la partie de la darse 2 non impactée par les mouvements des élinde (effet de promiscuité).

A plus long terme, l'effet le plus marquant concernera la destruction et l'altération des communautés benthiques (flore et faune) dont se nourrissent certaines populations de poissons (consommateurs primaires). Le retour de ces poissons benthiques et/ou démersaux sera donc graduel et leur densité fonction de la recolonisation du substrat meuble.

4.6.1.3.7 - Incidence sur les mûles

4.6.1.3.7.1 - Mûle Graveleau

Le mûle Graveleau ne sera pas impacté par les travaux de dragage car l'opération d'aménagement des infrastructures terrestres Fos 2XL, donc les quais, seront mis en place avant le début des travaux de dragage en darse, soit avant le démarrage de la Phase 2 prévue dès le premier semestre de l'année 2006.

4.6.1.3.7.2 - Môle Central

Le môle Central ne sera pas impacté par les travaux de dragage car l'opération d'agrandissement du cercle d'évitage sera menée conjointement aux aménagements terrestres Fos 2XL (cf. § 4.6.1.3.7.1).

4.6.1.3.8 - Effets sur les usages et les activités littorales

4.6.1.3.8.1 - Aquaculture de l'Anse de Carteau

Le principal risque pour les élevages de l'Anse de Carteau vis-à-vis des activités de dragage est représenté par la diffusion de particules fines lors des travaux. Compte tenu du mode de dragage retenu, par aspiration, la diffusion de matériaux sédimentaires sera extrêmement limitée. La zone d'élevages située à plus de 2 km du chenal d'accès à la darse 2 ne pourra être impactée par les opérations de dragage.

En tout état de cause, il convient de rappeler que la qualité des matériaux extraits permet d'écarter tout risque de contamination.

4.6.1.3.8.2 - Archéologie sous-marine

Aucun site archéologique n'est recensé ni dans les secteurs d'extraction de matériaux ni dans les zones d'immersions retenues.

4.6.1.3.8.2 - Trafic et activité portuaires

Le chantier maritime sera balisé de jour comme de nuit par des marques remarquables signalant l'emprise des travaux de dragage.

Lors du chantier de dragage, le trafic portuaire sera perturbé pour les navires devant accéder en darse 2 (terminal à conteneurs existant, appontements LYONDELL CHIMIE France et ELF ATOCHEM [ATO FINA], EIFFEL), lors des travaux en darse 2 et à Port Saint-Louis du Rhône (remorqueur, barges, etc...) et en darse 3 (ou bassin du Gloria) lors des travaux dans le chenal d'accès (cf. **Figure 4.19**), bien que la flexibilité des engins envisagés limitent au maximum dans la plupart des situations cette gêne.

Dès la fin du chantier, cette gêne à la navigation disparaîtra.

Après les travaux, l'approfondissement de la darse et du chenal d'accès, et la mise en place de l'aire d'évitage faciliteront le mouvement des navires accédant actuellement aux appontements industriels.

4.6.1.3.8.3 - Autres trafics maritimes

Les accès à Port Saint-Louis du Rhône seront peu perturbés pour la navigation de plaisance ainsi que pour les navires de pêche professionnelle devant débarquer leur stock de poissons à Port Saint-Louis (criées et coopératives) ou pour les embarcations dédiées aux activités aquacoles de l'Anse de Carteau et effectuant des mouvements vers Martigues, Port-de-Bouc ou Lavéra (cf. **Figure 4.19**).

La fin du chantier, signifiera la disparition de la gêne occasionnée.

4.6.1.3.8.4 - Baignade et pêche sous-marine

Aucune aire de baignade autorisée (et donc surveillée) n'est localisée dans la zone d'emprise des travaux ou à proximité.

La pêche sous-marine, non autorisée dans les darses est cependant pratiquée dans la darse 2. Cette activité est dangereuse pour les pratiquants lors de mouvements de navires et devrait naturellement se réduire lors des travaux. Néanmoins un contrôle et une vigilance plus sévères devront être assurés par les opérateurs lors des travaux à proximité des berges.

Figure 4.19 Carte de localisation des trafics maritimes

4.6.2 - Opérations de transport des matériaux

4.6.2.1 - Effets sur le trafic maritime

Le transport des matériaux du site de dragage au site de clapage, soit par 70 mètres de fond s'effectuera en empruntant le chenal d'accès aux bassins portuaires du Golfe de Fos. Le mouvement des navires entre les deux sites devra respecter les instructions et la réglementation relatives à la circulation dans le Golfe de Fos (cf. § 4.2.14.1 Réglementation).

Les rotations s'effectueront de jour et de nuit. Ces rotations s'intégreront dans le trafic quotidien sans perturber les mouvements des navires de commerce. Environ 40 à 60 minutes seront nécessaires à la drague / barge / chaland pour effectuer les trajets entre les deux sites, soit approximativement 1,5 à 2 heures pour effectuer une rotation. Une rotation toutes les heures ou toutes les 2 heures (temps nécessaire pour remplir la barge / chaland) pourra survenir (en considérant respectivement l'hypothèse de 2 navires ou d'un seul navire).

Les embarcations de plaisance de petit tonnage ne seront pas gênées par le trafic de ces navires, car en raison de leurs faibles tirants d'eau, elles empruntent des routes différentes (cf. **Figure 4.19**).

Le refoulement en canalisation flottante perturbera peu le trafic maritime en darse 2, car l'horizon concerné par ce procédé de transport, les cailloutis de Crau, ne sera dragué que dans la partie Médiane de cette darse. Le trafic portuaire pouvant être perturbé sera essentiellement celui alimentant les sites industriels de LYONDELL CHIMIE France et ELF ATOCHEM (ATO FINA). Lorsque des mouvements de navires quittant ou accédant à ces appontements seront programmés, les canalisations devront être déplacées de manière à faciliter ce trafic vital pour ces sites industriels.

4.6.3 - Dépôt sur le terre-plein et immersion des matériaux

4.6.3.1 - Engins et techniques utilisés

Le dépôt sur le terre-plein Fos 2XL sera effectué par refoulement du mélange eau / sédiment grossier dans une canalisation flottante par la drague ou le chaland. Cette évacuation se fera dans des bassins ou casiers dimensionnés pour recevoir la mixture et décanter les particules. Les eaux de surverse, clarifiées, seront évacuées en fond de darse 2.

L'immersion au large du Golfe de Fos, par des fonds de 70 m sera effectuée par un(des) navire(s) d'une capacité de stockage supérieure à 7 000 m³ de mixture eau / sédiment. L'ensemble des matériaux sera lâché simultanément (coulée brusque de la mixture) sur une maille du site (cf. § 4.6.3.3 – Mode opératoire de l'immersion).

4.6.3.2 - Effets de la mise en dépôt à terre

Cette partie n'est pas traitée dans ce document d'incidence, car cette opération entre dans le cadre du projet d'aménagement Fos 2XL et sera traitée dans le document d'incidence relatif au projet.

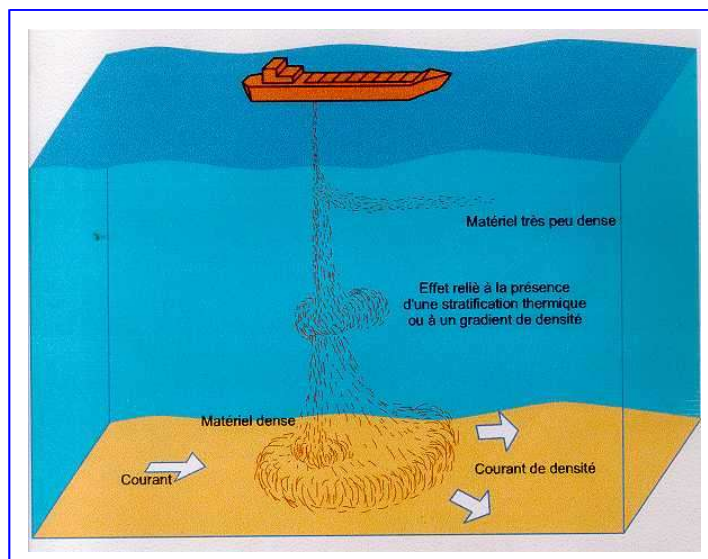
Les matériaux déposés à terre, lors des phases 2 et 3, seront grossiers (galets de Crau). Les ouvrages créés à terre dans le cadre du projet Fos 2XL seront dimensionnés pour réduire la concentration de MES en sortie à des valeurs acceptables pour le milieu récepteur : la zone draguée de la darse 2. Compte tenu du débit de refoulement (2 000 m³/h ou 48 000 m³/jour [hypothèse de 1 élinde]), les concentrations en MES devront (en sortie) être comprises entre 20 mg/l et 30 mg/l, soit respectivement des flux maximum compris entre 960 kg/jour et 1 440 kg/jour. Ces matériaux se déposeront dans la zone de la darse 2 en cours de dragage et pourront ainsi être extraits.

4.6.3.3 – Immersion : principe et mode opératoire

4.6.3.3.1 - Principe du clapage

La descente en masse sur le fond

Lorsque les clapets du puits de la drague s'ouvrent, on provoque la descente brutale et rapide des matériaux sous l'effet de la gravité. Cette phase initiale de descente est renforcée par l'effet de cohésion existant entre des particules fines très fortement liées entre elles.



Durant cette phase de descente en masse des matériaux, la coulée boueuse entraîne de l'eau avec elle. Cette intégration d'eau environnante dans la coulée a tendance à diluer les matériaux au sein de la colonne d'eau.

En général, cette descente en masse se poursuit jusqu'à l'effondrement sur le fond.

La diffusion passive et l'effondrement dynamique

Si l'incorporation d'eau est suffisamment importante, on peut arriver à individualiser des particules de la coulée. Ces particules ne se comportent plus à l'identique du reste des matériaux, elles retrouvent leur vitesse de chute initiale, elles décanent et forment un panache turbide secondaire qui sera dispersé par la masse d'eau environnante plus ou moins rapidement selon les conditions hydrodynamiques régnant sur le site.

En général, en arrivant sur le fond, l'effondrement de la coulée boueuse entraîne la formation de panaches plus ou moins denses qui s'éloignent du point de chute, se diluent plus ou moins, et se déposent.

L'impact sur le fond

L'impact d'une opération de clapage se traduit donc par :

le dépôt sur le fond des matériaux rejetés qui forment un cône proportionnel au volume clapé, à la hauteur d'eau et à la capacité dispersive du milieu,

la formation d'un panache *turbide* plus ou moins important selon les volumes clapés et les conditions dynamiques du site.

Une fois déposé sur le fond, le devenir de ces matériaux est intimement lié à la capacité érosive de la masse d'eau. Si les agents dynamiques ne sont pas suffisamment compétents pour éroder ce cône de rejet, les sédiments auront tendance à se consolider et à se stabiliser dans le temps pour venir s'intégrer à la sédimentation naturelle locale.

Dans le cas contraire, ils seront remobilisés par les courants et la houle (ou encore sous l'effet de l'activité biologique), et ils intégreront les déplacements de la masse d'eau où ils seront d'autant mieux dispersés que leur remobilisation sera faible.

4.6.3.3.1 – Mode opératoire de l'immersion

La réflexion aboutissant à la détermination des sites d'immersion s'appuie d'une part sur les résultats de l'analyse multi-critères et d'autre part sur le niveau de contraintes environnementales, techniques et économiques qui s'exercent sur ce type d'opération.

Les principaux éléments contraignants sont les suivants :

le volume des matériaux à extraire qui induit une surface et une épaisseur de matériaux re-déposés très importante,

la nature de ces matériaux dont la proportion en fines et notamment en argiles va être très importante,

la technique de dragage utilisée, dragage hydraulique en marche, (la plus intéressante économiquement parlant) qui se traduit par l'immersion d'un très faible volume de matériaux au regard du volume d'eau contenue dans le puits (1 pour 10 en moyenne),

la remobilisation de ces matériaux déposés sur le site d'immersion et la formation de nuages turbides tout au long des différentes phases de l'immersion,

les risques de retour à la côte soit par reprise des matériaux sur le fond soit par déplacement de nuages turbides doivent être minimisés,

les temps de rotations doivent permettre une exploitation des outils économiquement efficace (dans le cas où 2 dragues par exemple travaillent sur le chantier, lorsqu'une extrait les matériaux, l'autre les clape).

La prise en compte de ces contraintes associée à une analyse critique de l'AMC impliquent les choix suivants :

les sites de clapages ne doivent générer qu'une gêne minimale durant la phase de chantier et ultérieurement tant en terme de navigation, qu'en terme d'incidences environnementales ou encore économiques (pour le Port Autonome de Marseille dans le cadre de la gestion de ce projet et pour les usagers du Golfe de Fos),

le ou les site(s) d'immersion doivent préférentiellement se situer en dehors du Golfe de Fos,

les contraintes hydrodynamiques affectant le site permettent ou d'éviter ou de minimiser les risques de retour à la cote.

Plusieurs sites doivent être définis afin de limiter les nuisances potentielles (à court terme : diffusion, temps de chute, surface impactée,... et à long terme : recolonisation *benthique*, tassement des matériaux,...).

Dans cette optique, deux sites ont été retenus pour recevoir les matériaux dragués (cf. **Tableau 4.39**) :

la zone Est : elle se situe par 70 m de fond à l'extérieur du Golfe de Fos (cf. **Figure 4.17**),

la zone Ouest : elle se situe par 70 m de fond à l'extérieur du Golfe de Fos (cf. **Figure 4.17**).

Zone	Coordonnées (latitude - longitude)	Rayon (km)	Superficie (km ²)	Profondeur moyenne (m)
Est	43°18'00'' - 4° 58'00''	1,25	5	70
Ouest	43°18'00'' - 4° 56'00''	1,25	5	70

Tableau 4.39 : coordonnées des sites de clapage

En première approximation, les fréquences de retour des régimes aérologiques sont du même ordre de grandeur sur chacune de ces deux zones, la répartition des clapages s'effectuera donc équitablement sur ces deux zones.

En période de mistral, les deux sites sont susceptibles d'accueillir indifféremment les clapages. En période de Marin, la zone Ouest se situe plus près de la côte, elle est donc moins propice car présentant une éventualité de retour à la côte plus importante que sur la zone Est.

Les opérations s'effectueront donc alternativement sur chacune des deux zones, hors condition de Marin où les clapages s'effectueront sur la zone Est.

Les zones définies sont des cercles, chaque zone est scindée en quartiers destinés à recevoir les matériaux immergés, il y a donc 8 secteurs de clapage (quartier = 1 quart de cercle [1,25 km²]).

Le principe des opérations est le suivant : les clapages s'effectuent successivement dans chaque quartier en alternant zone Ouest et Zone Est et en respectant un ordre préalablement établi de roulement des quartiers.

Ainsi, deux clapages successifs dans l'hypothèse d'un seul bateau et d'un travail 24h/24h :

sur les zones Est et Ouest s'effectueront toutes les 2 rotations, soit toutes les 5 heures,

sur un même quartier se produiront toutes les 9 rotations, soit toutes les 33 heures.

Dans le cas de deux bateaux au travail, un décalage des opérations est nécessaire (pour des raisons de sécurité, d'organisation, et d'environnement), le premier bateau travaille selon la procédure précédente, le deuxième bateau ne commence le dragage qu'au moment où la première drague part claper. Ainsi on évite les problèmes d'occupation des plans d'eaux. Un navire est à l'extraction quand l'autre est au clapage. Le premier bateau va claper sur une des deux zones et le second sur l'autre zone en respectant la procédure de roulement des quartiers.

Ainsi, deux clapages successifs dans l'hypothèse de 2 bateaux et d'un travail 24h/24h :

sur les zones Est et Ouest s'effectueront toute les rotations soit toutes les 3 heures,

sur un même quartier se produiront toutes les 5 rotations, soit toutes les 17 heures.

4.6.3.4 - Effets sur la bathymétrie

La bathymétrie moyenne sur les sites de clapages est de 70 mètres. Le plateau sous- marin est à faible pente (0,5%).

4.6.3.4.1 - Modélisation des clapages

Deux objectifs majeurs ont prévalu quant à la décision d'utiliser le module de calcul STFATE de la chaîne ADDAMS, il s'agissait de déterminer :

dans quelles conditions les sédiments clapés se déposaient- ils et quelles étaient les caractéristiques de ce dépôt,

quelle était la zone d'influence des panaches turbides générés par les opérations de clapage.

Le modèle mathématique STFATE (Short Term FATE) permet d'appréhender le devenir à court terme des produits de dragage immergés par clapage. Ce modèle fait partie du système ADDAMS (Automated Dredging and Disposal Alternatives Management System) regroupant un ensemble de logiciels développés par l'Agence de Protection de l'Environnement (E.P.A.) de l'armée américaine. ADDAMS représente un outil de gestion pour les projets relatifs aux dragages et matériaux de dragage en général (stockage, consolidation, rejet,...).

L'évaluation du comportement des sédiments au cours d'un rejet en eaux libres s'inscrit dans l'étude des répercussions environnementales du clapage et de la mise en dépôt des sédiments.

Plusieurs facteurs influencent le comportement du matériel rejeté :

le type de drague utilisé,

le taux de décharge,

le contenu en eau du matériel rejeté,

les caractéristiques physiques du sédiment : granulométrie, composition minéralogique,

l'environnement physique du type de dépôt : *bathymétrie*, courants, vagues, marées, conditions météorologiques, salinité du milieu récepteur, présence d'une stratification thermique ou d'un gradient de densité, caractéristiques des sédiments, nature du fond.

A partir de la description de la zone de rejet, de l'opération de clapage et des sédiments rejetés, le modèle STFATE simule les phénomènes de dispersion et de sédimentation des sédiments clapés. Pour l'utilisateur, le résultat principal

de ces simulations est donc une représentation de l'évolution temporelle et spatiale de la quantité de sédiment qui reste en suspension dans la colonne d'eau réceptrice et de celle qui se dépose sur le fond.

Lors du rejet en mer des produits de dragage, ceux-ci se dispersent dans la colonne d'eau et se déposent sur le fond marin. Le modèle STFATE simule le devenir à court terme des sédiments clapés en décomposant leur comportement en trois étapes principales :

la descente en masse dans la colonne d'eau des sédiments déversés : il s'agit de la phase de descente convective,

l'effondrement dynamique du panache : cette phase est provoquée soit par l'impact du panache sur le fond marin, soit par l'atteinte de l'équilibre hydrostatique du panache dans la colonne d'eau,

la dispersion latérale des sédiments : il s'agit de la phase d'advection et de dispersion.

La principale originalité du modèle STFATE réside dans l'utilisation de la théorie des nuages convectifs multiples. D'une part, ce concept permet une vision plus réaliste dans le cas d'un bateau en marche lors du clapage car les différents nuages convectifs ne sont pas alors lâchés au même endroit, il s'applique indifféremment au cas des bateaux comportant un seul ou plusieurs puits. D'autre part, cette théorie permet une meilleure représentation des phénomènes lorsque les sédiments contenus dans le puits sont compartimentés par l'utilisateur en plusieurs couches, traduisant ainsi une consolidation des matériaux de dragage (eau surnageante en surface).

4.6.3.4.2 - Caractéristiques des simulations

Pour les simulations effectuées, les caractéristiques suivantes ont été utilisées :

volume clapé : 7 200 m³,

largage : 7 m sous la surface,

densité des matériaux : 1,2,

tous les résultats sont exprimés en matières sèches,

type de matériaux :

- Matériaux Limons Argileux (M.L.A.) : le pourcentage de fines est de l'ordre de 95% : argiles 80%, limons 15%, sables fins 5%,
- Matériaux Limons enrichis en éléments Grossiers (M.L.G.) : le pourcentage de fines est de l'ordre de 80%, des graviers sont présents : argiles 65%, limons 15%, sables fins 15%, graviers 5%,

Caractéristiques des fonds : fond plat à faible rugosité,

Hauteur d'eau : 70 m,

Caractéristique des courants (**cf. Annexe 4.3**) :

Mistral (vent de secteur Nord- Ouest) :

	Vitesse (m/s)	Direction (°)
Surface	30	120
Fond	15	120

Marin (vent de secteur Sud- Est) :

	Vitesse (m/s)	Direction (°)
Surface	20	300
Fond	10	300

Simulations réalisées : elles sont au nombre de 4 ; 2 séries de vents et 2 séries de matériaux :

en condition de Mistral : Matériaux Limons Argileux et Matériaux Limons Grossiers,

en condition de Marin : Matériaux Limons Argileux et Matériaux Limons Grossiers,

les deux sites retenus présentent les mêmes caractéristiques bathymétriques et hydrodynamiques,

la durée de la simulation est de 40 minutes.

4.6.3.4.3 - Résultats du modèle

Clapage par Mistral de Matériaux Limons Argileux (cf. Tableau 4.40)

		Position du point d'impact	Temps de chute (s)				Superficie de la zone impactée	Remise en suspension intermédiaire
			Argiles	Limons	Sables Fins	Graviers		
Mistral	M.L.A.	Verticale du point de clapage	>2400	>2400	>2400	/	0,9 km ²	oui

Tableau 4.40 : caractéristiques du clapage par Mistral de limons argileux

A la fin de la simulation, le bilan est le suivant (cf. Tableau 4.41) :

		DEPÔTS (matières sèches)								SUSPENSION							
		%				Volume (m ³)				%				Volume (m ³)			
		A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G
Mistral	M.L.A	87	7	67	/	445	7	21	/	13	93	33	/	65	89	11	/

Tableau 4.41 : bilan du clapage par Mistral

Le dépôt total occupe une surface de l'ordre de 0,9 km² pour une épaisseur moyenne de 1,77 mm et présente un cône d'accumulation d'une hauteur maximale de 225 mm.

Clapage par Mistral de Matériaux Limons Grossiers (cf. Tableau 4.42)

		Position du point d'impact	Temps de chute (s)				Superficie de la zone impactée	Remise en suspension intermédiaire
			Argiles	Limons	Sables Fins	Graviers		
Mistral	M.L.G.	Verticale du point de clapage	>2400	>2400	>2400	300	0,6 km ²	oui

Tableau 4.42 : caractéristiques du clapage par Mistral de limons grossiers

A la fin de la simulation, le bilan est le suivant (cf. Tableau 4.43) :

		DEPÔTS (matières sèches)								SUSPENSION							
		%				Volume (m ³)				%				Volume (m ³)			
		A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G
Mistral	M.L.G.	84	7	77	100	348	7	73	31	16	93	23	0	66	88	22	0

Tableau 4.43 : bilan du clapage par Mistral

Le dépôt total occupe une surface de l'ordre de 0,6 km² pour une épaisseur moyenne de 0,7 mm et présente un cône d'accumulation d'une hauteur maximale de 94 mm.

Clapage par Marin de Matériaux Limons Argileux (cf. Tableau 4.44)

		Position du point d'impact	Temps de chute (s)				Superficie de la zone impactée	Remise en suspension intermédiaire
			Argiles	Limons	Sables Fins	Graviers		
Marin	M.L.A.	Verticale du point de clapage	>2400	>2400	>2400	/	0,9 km ²	oui

Tableau 4.44 : caractéristiques du clapage par Marin de limons argileux

A la fin de la simulation, le bilan est le suivant (cf. **Tableau 4.45**) :

		DEPÔTS (matières sèches)								SUSPENSION							
		%				Volume (m ³)				%				Volume (m ³)			
		A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G
Marin	M.L.A	92	29	74	/	468	68	23	/	8	71	26	/	41	28	8	/

Tableau 4.45 : bilan du clapage par Marin

Le dépôt total occupe une surface de l'ordre de 0,9 km² pour une épaisseur moyenne de 1,9 mm et présente un cône d'accumulation d'une hauteur maximale de 246 mm.

Clapage par Marin de Matériaux Limons Grossiers (cf. **Tableau 4.46**)

		Position du point d'impact	Temps de chute (s)				Superficie de la zone impactée	Remise en suspension intermédiaire
			Argiles	Limons	Sables Fins	Graviers		
Marin	M.L.G.	Verticale du point de clapage	>2400	>2400	>2400	300	0,7 km ²	oui

Tableau 4.46 : caractéristiques du clapage par Marin de limons grossiers

A la fin de la simulation, le bilan est le suivant (cf. **Tableau 4.47**) :

		DEPÔTS (matières sèches)								SUSPENSION							
		%				Volume (m ³)				%				Volume (m ³)			
		A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G	A	L	SF	G
Marin	M.L.G	91	29	90	100	91	28	85	32	9	71	10	0	5	68	10	0

Tableau 4.47 : bilan du clapage par Marin

Le dépôt total occupe une surface de l'ordre de 0,7 km² pour une épaisseur moyenne de 0,8 mm et présente un cône d'accumulation d'une hauteur maximale de 107 mm.

4.6.3.4.4 - Commentaires

Les résultats de ces simulations présentent de nombreuses similitudes en terme de dépôts sur les fonds et de comportements du matériel clapé. L'influence du vent et donc du courant est quasi nulle pour ce qui concerne les matériaux arrivant sur le fond : le point d'impact se situant quasiment (inférieure à la taille de la maille de calcul du modèle : 25 m) à la verticale du point de clapage. L'impact des vents (et donc de la courantologie) se distinguera donc au niveau de la dispersion des panaches créés. Les résultats sont conformes aux observations faites sur d'autres sites (dans des conditions équivalentes).

La limite entre les deux couches de courants se situe vers 15 m sous la surface (cf. § 4.2.7.3.2). Lors de l'ouverture du puits de la drague, la descente de la mixture s'effectue sous l'effet de son inertie : c'est la phase de descente convective. Les résultats de STFATE font état de dépôt durant cette phase. La coulée boueuse atteint donc le fond sous sa propre inertie. Seuls les nuages turbides secondaires qui se forment durant cette phase et la suivante restent en suspension : ils se forment majoritairement lors de l'impact sur le fond. La limite physique (qui pourrait correspondre à une *thermocline* notamment) est donc traversée car l'impact sur le fond s'effectue durant la phase de descente convective de la mixture.

Une partie des matériaux est restée en suspension sur la durée de la simulation, il s'agit essentiellement des limons et dans une très moindre mesure des argiles et des sables fins (en effet une majorité de ces matériaux arrive sur le fond, cf. tableaux précédents). Ce résultat est intéressant car les argiles sont les matériaux prépondérants des produits de dragage et sont par excellence des matériaux généralement soumis à une phase de transport **en suspension** pouvant être très longue.

L'impact des panaches turbides en est d'autant diminué, car les argiles ne constituent pas la classe granulométrique dominante des nuages turbides générés. La dilution affectant ces nuages sera donc d'autant plus rapide que les limons et les sables fins (aux vitesses de chutes propres) les autorisent à se déposer dans les conditions courantologiques au large du Golfe de Fos.

La superficie des zones impactées sur le fond est importante (elle forme un cercle de 300 m de diamètre environ) elle résulte du taux très important des argiles dans la mixture extraite. Il faut souligner l'extrême faiblesse de l'épaisseur moyenne quelle que soit la simulation réalisée. Le pic d'accumulation atteint au maximum 24,6 cm. Il n'est que théorique et sera vraisemblablement rapidement érodé sous l'influence des courants de fonds (cf. § 4.6.3.4.6).

Ces opérations de clapage présentent donc des résultats satisfaisants en terme de dépôts sur les fonds.

4.6.3.4.5 - Modification de la topographie sous-marine

Le rejet en mer des matériaux extraits dans la darse 2 et son chenal d'accès se traduira par une accumulation de ces matériaux sur les zones de dépôts prévues. Au vu des volumes de matériaux que l'on envisage d'extraire, et même si les éléments les plus fins restent pour une part en suspension et se diluent dans la masse d'eau pour intégrer la turbidité ambiante, les fractions qui vont se déposer sur les fonds modifieront donc la topographie sous-marine.

L'épaisseur des zones recouvertes par ces matériaux de types limons argileux (avec des inclusions de graves) sera vraisemblablement de quelques décimètres (résultats théoriques des simulations réalisées dans le cadre de cette étude). L'étendue de la surface impactée est de l'ordre de 0,06 à 0,09 km², elle est globalement circulaire et se caractérise par un pic ponctuel de quelques dizaines de centimètres, la majorité de la surface est donc recouverte de quelques centimètres de matériaux. Si l'on se réfère au mode opératoire, chaque zone va recevoir environ 8 400 000 m³ de matériaux répartis de façon homogène sur 5 km². Cela conduit à une approximation de l'épaisseur de l'ordre de 1,70 m, soit ramenée à chaque phase :

- phase 1 : volume extrait : 6 000 000 m³, épaisseur du dépôt : 0,6 m,
- phase 2 : volume extrait : 7 000 000 m³, épaisseur du dépôt : 0,7 m,
- phase 3 : volume extrait : 3 750 000 m³, épaisseur du dépôt : 0,4 m,

Cependant, cette évaluation est à considérer avec précaution, en effet, elle ne prend pas en compte :

- ni le volume réel de matériaux extrait présent dans la mixture clapée,
- ni les tassements des matériaux, ni la très forte turbidité générée sur le fond qui favorise l'étalement du panache (par différence de densité),
- ni les effets hydrodynamiques ponctuels pouvant affecter les fonds,
- ni les glissements inéluctables qui se produiront lorsque les matériaux s'accumuleront sur un même point.

L'estimation du dépôt sur le fond est donc fonction :

- de la qualité granulométrique de la mixture clapée,
- de la densité de cette mixture (variable selon le type de matériaux extrait et les conditions d'extraction),
- du comportement de cette mixture lors du clapage (cf. résultats de STFATE),
- du comportement rhéologique des matériaux déposés sur les fonds (cf. chapitre suivants).

En tout état de cause, il faut s'attendre à un lissage des hauteurs théoriques et réelles sur les fonds entre chaque phase du fait des approximations faites. L'estimation de l'épaisseur des dépôts est de l'ordre de 1,5 à 2 m en fonction des variations des paramètres cités ci-dessus pour l'ensemble du chantier.

4.6.3.4.6 - Reprise des matériaux déposés : devenir à long terme des sédiments issus d'un clapage sur la zone d'immersion

Mécanismes en jeu

Le mouvement de particules sédimentaires en milieu marin dépend d'un nombre important de paramètres : courants, densité de l'eau, nature et concentration des sédiments, nature des fonds... De même, plusieurs phénomènes régissent ces mouvements : diffusion et dispersion des particules sous l'action turbulente de l'écoulement, advection par les courants, chute des sédiments sous l'effet de leur inertie et de leur poids, dépôt et érosion sur le fond.

Dès son largage en surface, la charge de sédiment est entraînée en masse dans la colonne d'eau par la force de gravité. A mesure que la charge descend vers le fond, la turbulence générée amène de plus en plus d'eau dans la masse de sédiments, de sorte que l'incorporation d'eau aux sédiments forme un nuage dense dont le diamètre augmente et la vitesse diminue à mesure que progresse la descente (GORDON, 1974).

Dans le cas de sédiments non cohésifs (sables, graviers) ou lors du clapage d'un volume important de sédiments cohésifs, les vitesses de chute et l'inertie du rejet sont souvent suffisamment importantes pour qu'une grande partie des sédiments clapés atteigne rapidement les fonds. Ils descendent en masse avec un écoulement de type jet, aspirant probablement un fort volume d'eau au cours de la chute. Par faible profondeur, le mélange solide - liquide tombe brutalement sur le fond et s'effondre sur lui-même. Lors de cette phase de contact, le rebondissement généré provoque une dispersion latérale des sédiments marins sur le fond, formant dans certains cas des courants de densité (vague turbide) : on estime que 15 à 20% du matériel peuvent être remis en suspension à proximité du fond.

Les sédiments se déposent sur le fond si la tension de frottement est inférieure à un certain seuil fonction de la vitesse des courants et de la nature des fonds. Dans le cas contraire, sous l'effet par exemple d'une augmentation de la vitesse des courants de fond, les sédiments sont remis en suspension (érosion) et transportés en suspension sur le fond.

Les phases de descente et de dépôt des sédiments caractérisent le devenir à court terme quelques heures après le rejet ; les processus d'érosion et de transport sur le fond déterminent le devenir à long terme du matériel rejeté. Ces deux phénomènes sont généralement étudiés séparément. L'évolution des sédiments, juste après le clapage, est en effet liée au processus de rejet lui-même et aux conditions hydrodynamiques au moment du rejet, alors que le devenir à long terme dépend des caractéristiques générales du site de rejet (transit sédimentaire, conditions de houles).

Transport en suspension et par charriage sous l'action des houles

La mobilisation des sédiments sous l'action des houles est fonction principalement de la granulométrie, de l'amplitude et de la période de la houle, et de la profondeur.

Nous avons considéré une houle monochromatique sinusoïdale (modèle d'Airy). Deux types de houles sont étudiés avec des périodes respectives de 5 et 9 s, les hauteurs de vagues sont représentatives des différentes houles observées et les profondeurs correspondent aux hauteurs d'eau sur site. Les particules d'eau se déplacent selon des orbites elliptiques qui s'amortissent progressivement de la surface au fond. La vitesse maximale du courant orbital à proximité du fond en dehors de la couche limite turbulente est définie par :

$$U_M = \frac{\pi H}{T h} \frac{2\pi}{L}$$

avec	H	=	Hauteur de la vague
	T	=	Période de la houle
	L	=	Longueur d'onde de la houle
	h	=	profondeur d'eau

KOMAR et MILLER (1974) proposent des seuils critiques d'entraînement des sédiments en fonction de la granulométrie et de la vitesse orbitale maximum à proximité du fond :

des vitesses supérieures à 0,50 m/s sont capables de remettre en suspension des sables moyens (0,32 mm de diamètre) mais le transport ne sera effectif que pour des vitesses supérieures à 0,85 m/s,

pour des vitesses supérieures à 0,20 m/s, les vases et les sables de diamètre inférieur à 0,2 mm sont remis en mouvement,

si la vitesse orbitale est inférieure à 0,10 m/s, seuls pourront être déplacés des grains de diamètre inférieur à 0,03 mm dans le cas où le sédiment n'est pas cohésif.

Dans les conditions des sites de clapage retenues :

hauteur d'eau importante,

régime d'agitation de type « mer de vents »,

on peut considérer que l'agitation générée ne présente pas les caractéristiques physique d'une onde de houle. La durée d'action notamment ainsi que les *fetchs* ne prédisposent pas à définir un régime de houle susceptible d'engendrer des vitesses orbitales sur le fond supérieures à 5 – 10 cm/s.

Les sédiments clapés, formant des cônes sédimentaires, ne pourront être remis en mouvement sous l'action directe des houles, uniquement dans les cas de très fort coup de vent agissant sur une longue période (*fetch* long et constant, intensité supérieure à 20 m/s pendant 10 à 15 jours).

Remise en suspension et charriage sous l'action des courants

L'étude des courants a montré que les courants dans la tranche d'eau présentent une stratification verticale à la fois liée aux régimes aérologiques et thermiques.

A proximité du fond (entre 1 m et le fond), la vitesse des courants est influencée par la nature des fonds et liée au coefficient de rugosité du fond (z_0) ainsi qu'à la contrainte tangentielle (τ) s'exerçant sur le fond et responsable de l'entraînement des particules. La variation de la vitesse à proximité du fond suit la loi logarithmique suivante (dite loi de KARMAN- PRANDTL) :

$$U_z = (1/K) \cdot (\tau\rho)^{1/2} \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{avec } K = 0,4$$

La contrainte tangentielle est reliée à la vitesse de frottement sur le fond (u^*) par la relation suivante :

$$\tau = \rho \cdot u^{*2}$$

L'équation précédente devient donc :

$$U_z / u^* = 5,75 \cdot \log (z/z_0)$$

z_0 varie en fonction de la forme et de la nature du substrat : entre 0,1 et 0,5 sur un fond de sable couvert de mégarides ; 0,05 pour des fonds sablo-vaseux.

Une relation simple, établie par le L.C.H.F., unit la vitesse critique de frottement sur le fond (u^* , exprimée en cm/s) et le diamètre moyen (D, en cm) des sédiments :

$$u^* = 2,8 \times D^{0,5}$$

Ceci permet de proposer des ordres de grandeur des vitesses u^* et U_{100} (cf. **Tableau 4.48**).

Diamètre du grain (D en mm)	Vitesse critique de frottement (u^* en cm/s)	Vitesse à 1 m du fond (U_{100} en cm/s)
10,0	8,8	220
5,0	6,2	160
1,0	2,8	80
0,5	1,9	50
0,2	1,2	30
0,1	0,9	22

Tableau 4.48 : ordre de grandeur des vitesses

Sur les fonds de sables avec *mégarides*, les courants de 0,3 à 0,5 m/s sont capables de remobiliser et de transporter les sables, et *a fortiori* de maintenir en suspension les vases du nuage de fond. Ces courants sont responsables d'un transit par charriage estimé à 0,2 m³/m/jour sur un banc sableux.

Sur les fonds de cailloutis, les courants sont capables de mobiliser les sables fins (0,1 mm) et les sables moyens (0,3 mm), et donc *a fortiori* les vases ; la présence de rubans sableux ou au contraire, l'absence de toute trace de sables, sont les témoins d'un très fort hydrodynamisme tout au long de l'année.

Pour les particules de diamètre inférieur à 0,2 mm, le transport de la charge solide se réalise, en fonction des conditions hydrodynamiques, soit en charriage sur le fond, soit en suspension dans la masse d'eau pendant un temps plus ou moins long.

Les courants agissant sur le site d'immersion sont donc ponctuellement (au vu des caractéristiques nécessaires et des mesures réalisées et corrélées aux données bibliographiques) susceptibles de remettre en mouvement l'ensemble des sédiments clapés si leur teneur en eau reste suffisamment élevée, c'est-à-dire avant tassement et consolidation. Cette remobilisation des matériaux non consolidés permettra d'éliminer les petites dépressions (par décantation) et/ou bosses (par érosion) formées par les multiples immersions et ainsi d'aplanir les sites de clapage.

4.6.3.5 – Synthèse des effets sur l'hydrodynamique et la nature des fonds

Effets sur l'hydrodynamique

L'hydrodynamisme de la zone large du Golfe de Fos s'appréhende au travers de trois paramètres :

- la courantologie,
- les houles,
- le débit du Rhône.

L'hydrodynamisme ambiant est responsable du transport des sédiments dans la colonne d'eau et à proximité du fond.

Les opérations de clapage en elles-mêmes n'auront aucune influence sur les paramètres hydrodynamiques précédents. De la même façon, l'incidence de cette phase sur le transport sédimentaire de la zone sera nulle.

L'accumulation de matériaux sur le fond au fur et à mesure des clapages et à l'issue de l'ensemble des opérations aura une incidence théorique sur les mouvements affectant la masse d'eau dans son ensemble.

Localement, la courantologie ne sera pas modifiée de façon sensible au regard des épaisseurs déposées :

- à l'issue de chaque opération,
- à la fin de chacune des phases de travaux et à la fin du chantier global.

De plus la nature des matériaux clapés ne modifiera pas la rugosité des fonds, les caractéristiques courantologiques sur le fond resteront donc comparables à celles que l'on a pu observer sur site lors de la campagne de mesure.

Les houles qui affectent le site ne sont pas en mesure d'influer significativement sur le fond. Les opérations de clapages seront donc sans incidences sur les caractéristiques de l'onde de houle et sur leur propagation. La modification de la topographie sous-marine (le dépôt total est estimé en première approche à 1,70 m sur chaque zone à l'issue de l'ensemble des opérations, cf. § 4.6.3.4 "Effets sur la *bathymétrie*") ne permet pas de modifier l'oscillation de la masse d'eau liée au passage des trains d'ondes de houles.

L'influence du Rhône n'a pas été sensible lors de la campagne de mesures (alors qu'une crue importante se déversait au large du Golfe de Fos), l'immersion des matériaux sera donc sans influence.

Les opérations d'immersion seront donc sans effets notables sur les paramètres physiques générant le transport de matériaux. Lui-même ne devrait donc pas être influencé de façon remarquable. Lors des clapages, les nuages turbides se fondront dans la *turbidité* ambiante rapidement ; la dilution de ces suspensions fait l'objet d'un chapitre spécifique (cf. § 4.6.3.6).

A l'issue des différentes phases du chantier de dragage, les transports sédimentaires s'effectuant sur les fonds ne seront pas affectés de façon très importante tant en terme de débit que de concentration.

Effets sur la nature des fonds

Les sites d'immersion se situent dans l'aire prodeltaïque du prisme Sédimentaire épicontinental, à ce titre la couverture sédimentaire est dominé par des substrat fins de type argiles. Les matériaux rejetés sont constitués en majorité par ce type de matériaux. Les fractions plus grossières ne représentent au maximum que quelques dizaines de pourcents sur quelques pourcents d'opérations de clapage. La nature sédimentologique des fonds impactés ne diffèrera donc pas significativement de celle des fonds alentours.

4.6.3.6 - Effets sur la qualité de l'eau

Influencées par les apports du Grand Rhône, les eaux marines à son embouchure peuvent être turbides et cette turbidité très compartimentée (couche de surface). La valeur moyenne en matières en suspension, en sortie du Golfe de Fos, est de 10 mg/l. Des valeurs plus bien plus élevées peuvent être ponctuellement relevées.

4.6.3.6.1 - Choix de la formule

Les concentrations de matériaux fins issus du dragage des sédiments portuaires, vont décroître au fur et à mesure du transport et de la dispersion par les courants (dilution).

Après chaque clapage, les teneurs maximales s'observeront au niveau du panache turbide transporté (advection) et dilué (dispersion) dans la masse d'eau.

Le transport horizontal du panache turbide va dépendre de la vitesse et de la direction des courants marins. La dispersion (dilution au sein de ce panache) va dépendre de la turbulence de l'écoulement.

La turbulence caractérise les petits mouvements de masse d'eau (fluctuations) sans rapport avec la direction générale de l'écoulement. Ce phénomène est la cause de la propagation rapide dans toutes les directions des propriétés des masses d'eau : température, concentrations en substances dissoutes,...

La turbulence peut être parfois caractérisée par des paramètres de diffusion turbulente (K_x , K_y , K_z) exprimés en m^2/s . Ces grandeurs varient dans l'espace et dans le temps ; il ne s'agit pas de constantes physiques. **La formule de Elder** fournit une estimation des coefficients de dispersion horizontaux à partir de la hauteur d'eau, de la vitesse moyenne de l'écoulement et du coefficient de frottement sur le fond.

4.6.3.6.2 - Paramètres pris en compte dans cette formule

Moyennant certaines hypothèses (écoulement permanent, faibles variations de la vitesse et de la profondeur), on peut admettre que les paramètres de diffusion turbulente soient localement constants. Une hypothèse classique consiste également à considérer que les coefficients de diffusion parallèlement et perpendiculairement à l'écoulement soient égaux : $K_x = K_y$.

On peut assimiler le clapage en mer à un rejet ponctuel et instantané de matériaux. La dispersion s'exprime alors en fonction du temps t , de la masse M de rejet (ou de polluants rejetés) et de la distance au centre de gravité du panache turbide. La formule proposée est issue du guide méthodologique des rejets en mer édité par le Ministère de l'Environnement en 1983. C'est aujourd'hui la formule permettant la meilleure approche du phénomène.

C = concentration dans le panache turbide

$$= MK^{-1} (4kt)^{-3/2} kz^{-1/2} \exp [-1/4 t (d^2/k + z^2/kz)]$$

avec :

M = masse de sédiment ou de polluants rejetés au temps $t = 0$,

t = temps

d = distance horizontale au centre du panache turbide,

z = distance verticale au centre du panache turbide,

k = coefficient de diffusion turbulente horizontale,

kz = coefficient de diffusion turbulente verticale.

Les concentrations maximales sont obtenues au centre du panache turbide (d=z=0) :

$$C_{\max} = \frac{M}{K\sqrt{K}} \frac{1}{\sqrt{(4\Pi t)^3}}$$

4.6.3.6.3 - Comment interpréter les résultats ?

Les résultats obtenus sont issus d'un calcul théorique même si ce calcul est couramment utilisé.

A partir de la formule précédente (validée par le Ministère de l'Environnement) et pour différentes conditions de rejet, il est possible d'estimer les concentrations résiduelles en matières en suspension (argiles) dans les eaux marines à différents instants après le clapage.

Les résultats ont été obtenus de 15 minutes à 24 heures après le clapage en considérant :

un volume rejeté de 7 000 m³ (volume du puits de drague) de mélange eau / sédiment de densité 1, 2,

des teneurs maximales en argiles de 867 mg/l (valeur maximale mesurée) 15 min après le clapage à 10 m sous la surface (données issues de STFATE),

une hauteur d'eau moyenne de 70 m et un coefficient de Strickler de 50 pour les deux zones,

une vitesse de courant de 0,3 m/s qui correspond à une valeur maximale pour les courants liés au Mistral sur le secteur Nord,

une vitesse de courant de 0,2 m/s qui correspond à une valeur maximale pour les courants liés au Marin,

Pour interpréter ces résultats il est bon de rappeler les points fondamentaux suivants :

les valeurs obtenues sont exagérées car n'entre pas en compte l'agitation (qui favorise la dispersion),

ils sont à interpréter en ayant parfaitement et constamment à l'esprit les conditions initiales qui ont été prises pour le calcul,

il faut également tenir compte du fait, pour ce qui est de l'interprétation des distances parcourues, que ce sont des valeurs absolues : elles n'intègrent donc pas la direction,

de même, la modification de la direction et des vitesses au cours de la période de temps de calcul n'est pas prise en compte,

pas de prise en compte des effets locaux liés à la topographie.

L'intérêt de ce calcul réside dans le fait qu'il donne une indication sur le temps nécessaire à la dilution de la suspension pour qu'elle arrive à une teneur acceptable.

4.6.3.6.4 - Résultats

Distances remarquables

	Distance du point de rejet / à la côte (km)		
	Vers l'Ouest (They de la Gracieuse)	Vers le Nord (Port de Bouc et Fos)	Vers l'Est (Cap Couronne)
Zone EST (70 m)	7,5	11	7,5
Zone OUEST (70 m)	9	10	6

Tableau 4.49 : distances remarquables

Caractéristiques courantologiques retenues

Vents	Vitesse (m/s)	Direction (°)
Mistral	0,3	120
Marin	0,2	300

Tableau 4.50 : caractéristiques courantologiques retenues

Caractéristiques des matériaux en suspension :

classe granulométrique : argiles,

concentration dans la colonne d'eau 15 minutes après le clapage, à 10 m sous la surface : 867 mg/l,

masse correspondante : 2,6 kg (d'après le volume en suspension 15 minutes après le clapage),

hypothèse de calcul : la *turbidité* liée au clapage est essentiellement liée à la teneur en argiles des matériaux clapés, le nuage turbide reste dans la tranche d'eau de surface.

Dilution théorique des zones Est et Ouest en condition de Mistral (cf. Tableau 4.51)

Temps (s)	Temps (min)	Distance parcourue (m)	Concentration (mg/l)
0	0	0	867
900	15	270	1,4 E-05
1800	30	540	4,8 E-06
3600	60	1080	1,7 E-06
7200	120	2160	6 E-07
14400	240	4320	2,1 E-07
28800	480	8640	7,6 E-08
57600	960	17280	2,7 E-08
86400	1440	25920	1,5 E-08

Tableau 4.51 : dilution théorique par temps de Mistral**Dilution théorique zones Est et Ouest en condition de Marin (cf. Tableau 4.52)**

Temps (s)	Temps (min)	Distance parcourue (m)	Concentration (mg/l)
0	0	0	867
900	15	180	2,5 E-05
1800	30	360	8,9 E-06
3600	60	720	3,1 E-06
7200	120	1440	1,1 E-06
14400	240	2880	3,9 E-07
28800	480	5760	1,4 E-07
57600	960	11520	4,9 E-08
86400	1440	17280	2,7 E-08

Tableau 4.52 : dilution théorique par temps de Marin

4.6.3.6.5 - Commentaires

Dilution :

L'application de la formule de Elder ne permet pas de représenter un schéma d'évolution de ces panaches de dilution.

La concentration dans la colonne d'eau 15 minutes après le clapage est très forte, cependant la dilution du panache est extrêmement rapide. Ainsi, le panache initial (correspondant à une concentration de 867 mg/l) présente une dilution de l'ordre de 10^5 à 180 m (Marin) et 270 m (Mistral) du point d'injection et ceci seulement 30 minutes après le clapage.

Les taux de dilution dans les deux conditions (Marin et Mistral) sont donc extrêmement rapides et importants.

Distance par rapport à la côte :

Par temps de Mistral, les panaches générés par les opérations de clapage sont entraînés vers le Sud-Est, ils passeront au large du Cap Couronne et n'affecteront pas la côte. Notons toutefois que dans le cas de la zone Ouest, ce Cap se situe à environ 6 km du point de clapage, le temps nécessaire pour parcourir une telle distance est de l'ordre de 6h 30 min et correspond à une dilution de l'ordre de 10^8 . Il est donc possible de considérer que les opérations de clapage se réalisant par temps de Mistral n'auront pas d'influence à la côte.

Par temps de Marin, les panaches sont entraînés vers le Nord-Ouest vers le They de la Gracieuse. Pour les deux sites retenus le panache atteint la côte 10 heures environ après le clapage, le taux de dilution est de l'ordre de 10^8 . L'influence sera donc nulle.

Succession des clapages :

Le temps de rotation est estimé à 4 heures, on peut donc envisager une multiplication des opérations de clapage sur un même point :

dans le cas d'un seul bateau : un clapage sur chaque zone toutes les 5 heures et sur un même quartier toutes les 33 heures,

dans le cas de deux bateaux : un clapage sur chaque zone toutes les 3 heures et sur un même quartier toutes les 17 heures.

Hors en quatre heures les panaches se sont déplacés de 2,1 et 1,4 km selon les conditions de vents et la dilution est de l'ordre de 10^7 à 10^6 . La multiplication des clapages respectant cette cadence horaire sera donc sans incidence sur la charge en matières en suspension de la colonne d'eau.

Valeur typique du seuil critique de toxicité des matières en suspension (MES) :

Il est aujourd'hui estimé à 500 mg/l (BCEOM, 1999 - d'après Alzieu [IFREMER]). Dans les secondes qui suivent le clapage une dilution par cent s'opère puis très vite, une dilution par cinquante millions (la concentration atteint alors, de l'ordre de 10^{-5} mg/l). Le seuil de toxicité n'est dépassé que durant une quinzaine de minutes en surface. Rappelons enfin que ce seuil a été défini pour des espèces de poissons démersaux (vivants à proximité du fond) et mobiles. Il est donc fort peu probable, que les opérations de clapage *sensu stricto* soient toxiques pour ces espèces démersales.

MES caractéristiques de la zone large du Golfe de Fos :

Au large du They de la Gracieuse, la charge de MES est de l'ordre de 10 mg/l. Dans tous les cas de figures lorsque les panaches dus aux opérations de clapage sont susceptibles d'atteindre ce secteur, la dilution extrêmement élevée (10^8) entraîne des concentrations de MES dans l'eau infimes (l'ordre de 10^{-7} mg/l). Ces panaches seront donc sans influence sur la turbidité locale.

4.6.3.7 - Effets sur les peuplements benthiques

Le peuplement en place sur les sites de clapage est moyennement riche en espèces et individus. Il a une forte affinité pour les Vases Terrigènes Côtiers. Ces organismes sont soumis à un envasement continu des fonds et ne sont pas affectés.

A la suite du rejet de 350 000 m³ de déblais de dragage qui a été mené dans le Golfe de Fos entre 1965 et 1977 par 35 mètres de fond, le peuplement initial a été considérablement altéré, puis une restauration s'est amorcée, avec le rétablissement très progressif d'un certain nombre d'espèces caractéristiques de l'état initial de la communauté benthique. Sur ce site, il est probable que, la situation initiale ne s'est jamais restaurée complètement en raison des matériaux déposés différents de ceux initialement présents.

Actuellement le peuplement présent est considéré comme « robuste » et bien adapté à un milieu changeant et contraignant. Si des déblais devaient y être à nouveau immergés, un état **d'équilibre actuel** pourrait être atteint à nouveau, après des rejets de déblais supplémentaires, dans un délai assez court de l'ordre **d'un à deux ans**.

Bien que cela aurait constitué une solution intéressante, y compris au plan économique, l'AMC, **compte tenu des volumes concernés (16 750 000 m³) n'a pas retenu cette solution.**

La zone d'immersion concernée dans l'étude est deux fois plus profonde que le précédent site. Elle est constituée d'une biocénose bien établie de Vases Terrigènes Côtiers (VTC).

Les impacts de rejets de dragage sur ce peuplement devraient être comparables (appauvrissement du peuplement actuel) à ceux précédemment décrits : destruction par recouvrement (point d'impact sur le fond), déstabilisation aux alentours du point d'impact et sur les zones proches.

La biocénose en place est stable et bien équilibrée, mais peu résistante vis-à-vis d'une perturbation, si bien qu'elle devrait faire l'objet à court terme d'une importante déstructuration. Mais à l'inverse, s'agissant d'une zone plus profonde, le processus de ré-ensablement devrait être rapide, ce qui aboutira à une restauration également plus rapide des caractéristiques du peuplement proches de l'état initial. Un suivi du peuplement benthique réalisé entre 1972 et 1978 sur des sites en sortie du Golfe de Fos de profondeur comprise entre 25 et 50 mètres et soumis à des rejets de dragage (SALEN-PICARD, 1981) a d'ailleurs démontré que le peuplement était d'autant plus dégradé que la profondeur était faible et qu'on se rapprochait de l'intérieur du golfe (échanges avec la mer réduits et impact plus marqué des pollutions issues des industries de la région de Fos).

Sur les fonds de 70 m, le peuplement semble se rapprocher de l'aspect appauvri de la biocénose des Vases Terrigènes Côtières observée au niveau des sites ayant fait l'objet de rejets de déblais :

soit parce qu'il s'agit d'un site ayant déjà accueilli des déblais,

soit parce que ce site est proche du chenal d'accès aux ports du Golfe de Fos et que par conséquent à leur niveau le substrat est plus grossier,

soit parce qu'il se situe sur une zone de chalutage intensif (chalut de fond).

Selon SALÉN-PICARD (1981), les principaux impacts des dépôts de dragage au large du Golfe de Fos sont :

l'affaiblissement des peuplements par l'apport de matériaux grossiers,

l'augmentation de la turbidité de la couche d'eau dans laquelle baigne le peuplement,

l'augmentation du niveau de pollution du sédiment dû à des phénomènes d'adsorption de certains agents polluants sur les particules argileuses, qui accélèrent ainsi la dégradation du peuplement.

Sur et pour les sites de clapage proposés (70 m) :

la structure et la composition actuelle du peuplement correspond à une biocénose résistante vis-à-vis de perturbations,

les matériaux clapés ne sont pas contaminés en éléments métalliques et composés organiques à des niveaux considérés comme toxiques pour les peuplements benthiques,

la charge organique des matériaux portuaires est proche de celle du substrat meuble en place,

les matériaux clapés ont les mêmes caractéristiques granulométriques que les matériaux en place,

l'épaisseur déposée à chaque clapage (7 200 m³) est très faible (quelques millimètres). Si l'on considère les fréquences de retour en un même point (lors

d'une même phase de travaux et hors conditions météorologiques exceptionnelles) de 17 heures (cas de 2 bateaux travaillant 24h/24h) ou de 33 heures (cas de 1 bateau travaillant 24h/24h), une faible partie des organismes benthiques sera recouverte sans possibilité de migration verticale, alors que la majorité aura le temps nécessaire pour migrer (polychètes, mollusques),

La turbidité due au clapage des matériaux est un phénomène temporaire. Cette diffusion va s'effectuer essentiellement, en raison des courants et / ou de la présence d'une thermocline sur une longue distance et très rapidement à l'aplomb du point de chute du dépôt sur le fond. La qualité de l'eau retrouvera des valeurs de turbidité inférieures à celles du bruit de fond naturel qui en surface est assez élevé à l'embouchure du Delta du Rhône.

En conséquence, la restauration du peuplement actuel devrait donc pouvoir être observée à court terme, soit dans un délai très probablement inférieur à 1 année après le déversement de matériaux meubles et fins.

Le découpage par phases, des travaux, va permettre aux peuplements benthiques de se restaurer complètement environ 1 an après la fin des travaux de phase 1 (fin mi 2003), soit dès mi 2004 et avant le démarrage probable de la phase 2 et de la phase 3 (début 2006). Ce délai entre les 3 phases permettra ainsi aux peuplements de revenir à des conditions d'équilibre dans les zones directement et indirectement impactées. Cette interruption des travaux permettra à travers cette recolonisation complète d'amoindrir l'impact indirect des opérations de clapage par rapport à un chantier où toutes les phases s'enchaîneraient. En effet, le fractionnement des opérations présente l'avantage de diminuer les volumes déposés lors de chaque opération et ainsi de restreindre la quantité érodable du dépôt sur le fond. Cette diminution du transport sédimentaire sur le fond permet aux organismes vivants dans les zones périphériques des dépôts de recoloniser celles-ci de façon plus rapides.

4.6.3.8 - Effets sur les peuplements halieutiques

Plus de 70 espèces d'intérêt halieutique sont identifiées dans le Golfe du Lion. Bon nombre d'espèces se répartissent entre la côte et le large. Quelques espèces sont fréquentes ou abondantes dans la zone s'étendant de 3 à 6 milles nautiques (soit 5,5 à 11,1 km) des côtes du Golfe du Lion : le merlu, le pageot et la sole (cf. Tableau 4.21).

L'effet du clapage sur les fonds concerne essentiellement le recouvrement des deux sites de superficie 5 km² et moins la diffusion des particules fines lors de la chute des matériaux.

La superficie totale directement impactée par les travaux est de 10 km² (soit 1 000 ha). Par comparaison, la ZNIEFF marine « Zone 13M08 ZONE LARGE DU GRAND RHONE », où de nombreuses espèces marines sont présentes en permanence (merlans, sardines, pageots, soles, loups) a une superficie de 53 800 ha (cf. § 4.2.13.4.1 – ZNIEFF), soit 53 800 fois les deux zones de clapage. Les sites de clapage représentent 1,8% de la surface de cette ZNIEFF (cf. Figure 4.20).

Si l'on considère les limites suivantes : les parallèles passant par les coordonnées 4°50'E (embouchure du Rhône) et 5°04'E (Cap Couronne) et les isobathes 50 et 100 m ; entre ces lignes fictives et isobathes, il est possible d'y placer environ 35 cercles de diamètre 5 km², soit 175 km². En conséquence, dans les mêmes profondeurs que les sites de clapage et sur le plateau sous-marin du Delta du Rhône, plus de 80% du domaine halieutique ne sera pas impacté.

La turbidité de l'eau due à la dispersion du nuage lors du clapage est un facteur impactant moindre à considérer sur les peuplements pélagiques, car le large du Golfe de Fos est un milieu naturellement turbide et les espèces y vivant sont adaptées à de fortes fluctuations (cf. § 4.6.3.6.4 – Résultats). Egalement, certaines espèces pélagiques peuvent trouver un apport de nourriture (vers, chairs de bivalves et autres) associé aux particules minérales rejetées.

Dans leur majorité, les poissons pélagiques vont migrer lorsque le matériel sédimentaire va couler et se retrouver dans des zones hors influence des clapages. On a ainsi un déplacement des populations. A court terme (quelques heures), le retour des espèces pélagiques et démersales impactées sera conditionnée par un retour à des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (turbidité, salinité) proches du milieu naturel ou dans les plages de tolérance des poissons.

A moyen terme, la « sédentarisation » des poissons démersaux sur le site de clapage dépendra de la restauration de leur habitat mais surtout de la nourriture disponible (mollusques, vers, déchets organiques, etc..).

Le retour définitif des poissons démersaux est conditionné par les organismes benthiques dont ils se repaissent. La colonisation progressive des fonds par les peuplements benthiques et démersaux devrait ainsi se faire simultanément et atteindre au bout d'environ 1 année les densités présentes à l'origine. Les espèces pélagiques et démersales de poids économique présentes dans les fonds projetés pour l'immersion des matériaux sont essentiellement le merlu, le pageot et la sole. C'est cette dernière, la sole, qui est l'espèce qui devrait être la plus touchée par les travaux car fortement inféodée au substrat meuble.

Néanmoins, compte tenu de la profondeur prévue pour les clapages, ce sont essentiellement, tout au moins dans le cas de la sole, les populations adultes qui sont susceptibles d'être perturbées, mais ces individus adultes sont capables d'effectuer plusieurs kilomètres à la recherche de leur nourriture.

4.6.3.9 - Epaves

A l'exception de l'épave « L'avion » à proximité de laquelle a été immergée le profileur de courants, aucune autre épave identifiée ne sera enfouie sous les sédiments. « L'avion » petite épave éparpillée sur le fond (71 m) ne peut avoir un rôle de nurserie ou de recrutement des espèces halieutiques. Au contraire, son enfouissement partiel ou total permettra peut être à terme aux pêcheurs professionnels (art traînant : chalut de fond) de pouvoir tirer leur chalut en réduisant le risque de déchirement du filet.

4.6.3.10 - Effets sur les usages et les activités maritimes

Pêche professionnelle

L'impact des travaux sur cette activité est lié aux dommages subis par les peuplements benthiques et la ressource halieutique essentiellement démersale (cf. § 4.6.3.7). Une espèce inféodée aux sédiments et aux organismes qui y sont enfouis, sera plus particulièrement perturbée par les opérations de clapage : la sole.

Les matériaux clapés sont des matériaux fins. Le chalutage de fond peut donc être pratiqué sans risque de détérioration du matériel de pêche sur les sites de dépôt entre les phases et au terme des travaux (après la phase 3).

Les sites de clapage sont des zones de pêche pour les chalutiers de la prud'homie de Martigues (autour de 30 chalutiers). Lors de la mise en place du profileur de courant (5 mars 2001) et de son retrait (3 avril 2001), pas plus de 3 à 4 navires de pêche au travail ont été observés en journée sur les fonds de 60 à 70 mètres.

Les surfaces impactées sont importantes (10 km²), néanmoins à l'échelle du plateau sous-marin du Golfe de Fos qui présente les mêmes caractéristiques de substrat meuble sur lequel les mêmes espèces sont présentes, la zone impactée est beaucoup plus réduite et représente :

au maximum 6% des fonds compris entre les isobathes 50 et 100 m, entre l'embouchure du Rhône et le Cap Couronne (cf. § 4.6.3.8),

0,002% de la surface faisant l'objet d'une ZNIEFF (Zone 13M08).

En conséquence, l'activité pêche professionnelle au chalut de fond pourra être effectuée durant les opérations de clapage. Les opérations de clapage vont, durant les travaux, perturber les espèces démersales qui vivent sur les sites. Les travaux obligeront les pêcheurs à modifier le positionnement de leurs traits de chalut (habituellement orientés Est-Ouest sur la zone) en passant de chaque côté des sites d'immersion qui sont presque accolés, localisés aux mêmes profondeurs (# 70 m) et également sur une ligne Est-Ouest.

Trafic Maritime

L'immersion en mer ne perturbera pas le trafic maritime, car :

les sites de clapage sont situés en dehors des chenaux d'accès aux ports du Golfe de Fos,

le temps nécessaire au clapage est très bref et la drague / barge / chaland effectue le largage en marche (cf. **Figure 4.19**).

Baignade

Les zones de baignade surveillées les plus proches des sites de clapage sont les plages de Napoléon (Port- Saint- Louis du Rhône) et de Carro (Martigues). Pour la plage de Carro, en considérant le site le plus proche potentiellement le plus défavorable, la courantologie sur le site n'est pas orientée en direction de cette plage. En conséquence pour cette plage, il n'y a pas de risque de retour à la côte de sédiments les plus fins transportés par la masse d'eau. Pour la plage Napoléon, les concentrations maximales en matières en suspension (MES) que l'on peut retrouver dans l'eau (dues au seul rejet par clapage) sont de l'ordre de 10^{-7} mg/l. Comparée à la concentration naturelle en MES au large du Golfe de Fos (cf. § 4.2.8.1 – Qualité de l'eau, point RNOHydro Fos n°202, $MES_{\text{noy}} = 8,88$ mg/l), la valeur calculée (cf. § 4.6.3.6 – Effets sur la qualité de l'eau) dans le cas de vent de Sud- Est fort est très négligeable et l'augmentation de la concentration naturelle en MES de l'eau due aux travaux non quantifiable.

La remise en suspension des matériaux ou l'érosion des dépôts après les travaux ou entre les phases de travaux n'entraînera pas de modifications de la qualité de l'eau, essentiellement à cause de la profondeur de dépôt limitant l'agitation sur le fond.

Zone protégée

La zone marine protégée du Cap Couronne est comme la plage de Carro située en dehors de la zone d'influence des travaux de clapage du point de vue de la turbidité de l'eau due au clapage où à plus long terme du point de vue de l'érosion des dépôts (cf. **Figure 4.20**).

Volet littoral du SDAGE

Le projet de dépôt des matériaux de dragage au large du Golfe de Fos tient compte des orientations définies dans le volet littoral du SDAGE, notamment :

la conciliation de l'ensemble des usages avec la richesse écologique du milieu : les zones naturelles sont préservées,

la lutte contre la pollution par les toxiques : les matériaux ne sont pas contaminés,

la lutte contre l'eutrophisation : les matériaux immergés sont pauvres en matières organiques,

l'aménagement physique du littoral : les matériaux fins sont immergés,

la préservation des milieux littoraux particuliers (herbiers, fonds corraligènes et rocheux) : les matériaux sont immergés en zone profonde sur fond meuble (70 m).

Le projet de dépôt n'influe également pas sur le phénomène d'érosion côtière du They de la Gracieuse.

Figure 4.20 Carte de localisation des sites de clapage par rapport aux ZNIEFF marines et à la zone marine protégée du Cap Couronne

4.6.4 - Incidences des opérations projetées sur la santé humaine

Le projet ne semble pas devoir générer des effets directs et indirects, temporaires ou permanents sur la santé humaine de manière générale.

Les problèmes de sécurité et de santé au niveau des chantiers maritime (dragage / transport / immersion) et terrestre (dépôt sur le terre-plein Fos 2XL) relèvent de la réglementation nationale appliquée sur chaque chantier.

4.6.5 - Incidences socio-économiques

Les travaux nécessaires aux opérations de dragage / transport / dépôt et immersion ont une durée supérieure à 20 mois répartie entre 2002 et 2007. Quelques grandes entreprises nationales de travaux publics pour certaines implantées dans la région Provence Alpes Côte d'azur peuvent prétendre à réaliser en partie ces travaux objet d'un effort financier important de la part du Port Autonome de Marseille (PAM) et de l'Etat.

L'influence des travaux sur la fréquentation touristique sera nulle puisque les travaux de dragage sont situés sur la zone portuaire de Fos, le dépôt à terre se faisant sur les terrains du PAM et l'immersion en mer par 70 m de fond sans impact notable sur les activités ou les milieux visés par cette économie.

Le développement économique de cette zone des Bassins Ouest au travers de la mise en service du futur terminal et de l'optimisation de l'existant devrait être significatif et générateur d'emploi.

Ainsi, l'activité du Port Autonome génère des emplois directs mais aussi des emplois indirects (pré & post acheminement, logistique et industrie).

En 1999, le nombre d'emploi direct du Port était de 9 400, il se répartit entre :

les services aux navires (1 047, ex du pilotage, du remorquage...),

les salariés du Port (1 521),

les salariés de la manutention (1147),

les administrations (366, ex des douanes ...),

les clients (4 191, ex des transitaires ...),

Autres (1 128),

En 1999, avec un total de 40 968 emplois directs et indirects, le port de Marseille représente environ 8% des emplois dans les bassins d'emplois où il est implanté (Marseille / Aubagne, Fos sur Mer et Berre l'Étang).

Une étude PAM/INSEE réalisée en 1999, a permis de calculer qu'en moyenne un emploi (indirect dans les transports et la logistique) traite 3 333 tonnes de marchandises quelles qu'elles soient. Il existe cependant des variations suivant les secteurs. Ainsi, l'activité conteneurs créerait un emploi pour 2 200 tonnes, dans les établissements de transport et de logistique.

On peut donc estimer actuellement, en prenant en considération le tonnage réalisé par le Port de Marseille dans le secteur des conteneurs, que cette activité génère environ 2 638 emplois indirects (dans les transports et la logistique) soit environ 6,5% des emplois créés par l'activité portuaire.

Les emplois créés vont générer des retombées économiques positives pour les communes avoisinantes et seront un facteur de développement des métiers tels que ceux liés à la restauration, à l'hôtellerie, à l'artisanat et au commerce.

4.7 - ANALYSE DES METHODES UTILISEES POUR EVALUER LES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

4.7.1 - Analyse des méthodes utilisées

4.7.1.1 - Documents consultés

Les documents consultés par CREOCEAN et BIOTOPE sont listés dans le chapitre 4.9 – BIBLIOGRAPHIE. Ces études et autres références ont été en partie communiqués par le Service Aménagement de Fos (S.A.F.) du Port Autonome de Marseille (PAM), le Centre d'Océanologie de Marseille (COM) et l'autre partie est issue des archives CREOCEAN-PACA.

4.7.1.2 - Analyse physico- chimique des sédiments à draguer

Les prélèvements des sédiments superficiels ont été menés par les techniciens CREOCEAN.

Les carottages de sédiments profonds ont été effectués par l'entreprise FUGRO France SA.

L'interprétation de l'ensemble des résultats a été menée par les chargés d'études CREOCEAN. Les analyses ont été effectuées par les laboratoires du Département Eaux et Environnement de l'Institut Pasteur de Lille, les laboratoires Départementaux des Pyrénées Atlantiques et le laboratoire de Chimie Analytique Bioinorganique et Environnement de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Ces analyses ont été réalisées selon des méthodes normalisées (ISO). Ce laboratoire est notamment agréé par les Ministères des l'Equipement et de l'Environnement pour les analyses sur les sédiments (fraction inférieure à 2 mm).

4.7.1.3 - Analyse biologique des sédiments au large du Golfe de Fos

Les prélèvements de sédiments superficiels, les déterminations (précédées de tris) et les interprétations des peuplements benthiques ont été menés par les chargés d'études CREOCEAN, experts en peuplement benthique méditerranéen de *substrat* meuble. De nombreuses études ont été menées en utilisant ces procédés développés au départ par des laboratoires de recherche.

Les analyses granulométriques ont été menées au laboratoire de CREOCEAN. La méthode normalisée utilisée est celle de la voie humide (tamisage selon 17 classes de diamètre).

4.7.1.4 - Inventaires floristique et faunistique sur l'étang du Caban

Les prospections, relevés et observations ont été réalisés en janvier et février 2001 par les chargés d'études (ornithologue et botaniste) de BIOTOPE. Une description

de la macroflore et de la macrofaune a été effectuée au cours de plusieurs missions de terrain.

Ces prospections se sont déroulées tôt dans la saison et des visites complémentaires n'ont pu être menées à une meilleure époque. Néanmoins les données bibliographiques et en possession ont permis de compenser ce manque et de bien appréhender les enjeux biologiques de la zone.

4.7.1.4.1 - Limites de la méthode

La période n'est pas optimale pour faire un inventaire complet de la flore mais elle permet d'identifier les principaux habitats présents exceptés les habitats aquatiques qui n'ont pas pu être étudiés compte tenu de la saison. Cependant ces inventaires ont été complétés par des consultations et par la bibliographie. On peut donc estimer que nous avons recensé l'ensemble des espèces sensibles de la zone.

Deux prospections pour les oiseaux ne permettent pas d'approcher l'exhaustivité en terme d'inventaire. Néanmoins, il n'est pas nécessaire de mener une étude exhaustive pour estimer la valeur biologique d'un site, base de l'analyse pour une étude d'impact.

Les oiseaux hivernants ont été recensés à la bonne période. En revanche, les prospections pour les oiseaux nicheurs se sont déroulées trop tôt. Cependant, nous avons complété nos données par les données disponible de la TOUR DU VALAT et on peut estimer que nous avons recensé l'ensemble des espèces sensibles de la zone d'étude.

4.7.1.5 - Etude hydrogéologique

Une étude hydrogéologique, comportant une modélisation / simulation de l'effet des travaux de dragage en darse 2 sur la position de la nappe de Crau et le mouvement du biseau salée a été menée par la société ANTEA.

4.7.2 - Difficultés techniques rencontrées

4.7.2.1 - Effets du chantier de dragage

Les effets des travaux de dragage ont été évalués sur la base de la connaissance de CREOCEAN sur des projets de chantiers similaires en Méditerranée, en France et à l'étranger.

Ces effets ont notamment été analysés au travers de l'abondante documentation bibliographique sur le sujet (cf. § 4.9 – BIBLIOGRAPHIE).

4.7.2.2 - Mesures de courants

Les mesures de courants ont été effectuées à proximité d'une épave identifiée et sur une courte période de temps. Cette proximité et la profondeur imposée ont été rendues nécessaire par le trafic de navires de pêche dans la zone (chalut de fond). Lors du mouillage du profileur de courant, les chargés d'études ont en effet observé que les traits des chalutiers contournaient l'épave de près.

Le profileur de courants a été disposé quelques mètres au dessus de l'épave de façon à ne pas perturber les mesures (direction et intensité). En contrepartie l'enregistrement des vitesses / directions sur le fond n'a pu être réalisé.

Dans la durée limitée de mise à l'eau, il a notamment été considéré (avec la fréquence des diverses conditions de vents), le risque de perte du matériel et donc de non récupération des données de mesures.

4.7.2.3 – Le clapage

4.7.2.3.1 - Résultats d'un clapage

Dépôt sur le fond

Son impact est immédiat par recouvrement des espèces présentes, par une modification de la nature du substrat et par une modification de la morphologie des fonds (cela d'un point de vue théorique à relativiser en fonction des volumes clapés, de la bathymétrie et de la topographie initiales).

Il est donc important de s'intéresser au devenir à long terme des matériaux et pour cela appréhender les compétences érosives des agents hydrodynamiques ainsi que les caractéristiques physiques du dépôt.

Pour cela, l'étude, aussi précise que possible de la courantologie et des houles est nécessaire, de même que la connaissance de la sédimentologie et de la dynamique sédimentaire sont primordiales. Les corrélations pouvant exister entre ces différents facteurs nous permettent de déterminer les compétences érosives régnant sur ce secteur.

Il est aussi important de connaître la composition du dépôt (répartition des différentes classes granulométriques, temps de dépôts,...), afin de pouvoir déterminer l'influence des agents dynamiques sur le cône sédimentaire.

Nuage turbide en suspension dans l'eau

Deux types de nuages sont à considérer :

le premier, correspond aux nuages qui s'échappent de la coulée boueuse lors de la phase de descente en masse ; ils affectent l'ensemble de la colonne d'eau (visibles en surface, ils se diluent, se dispersent et décantent plus ou moins rapidement),

le deuxième, est lié à l'éclatement sur le fond de la coulée boueuse, ce sont des nuages denses qui se re-déposent rapidement sur le fond et qui sont très facilement érodables.

4.7.2.3.2 - Utilisation d'un modèle mathématique

Définir les conséquences d'une opération de clapage s'apparente donc à la multiplication de calculs intégrant des temps de chute (proportionnels aux différentes classes de particules), des déplacements de la masse d'eau en fonction de la courantologie,...ceci répété avec une fréquence élevée dans les secondes qui suivent l'immersion.

L'utilisation d'un modèle mathématique permet de réaliser ces calculs et de pouvoir tester de nombreux cas rapidement.

Estimation du dépôt

En caractérisant aussi finement que possible le sédiment que l'on se propose de rejeter en mer, ainsi que les conditions océanographiques du site, l'utilisation du modèle mathématique permettra de préciser :

la localisation du dépôt,

la surface couverte par le dépôt,

l'épaisseur du dépôt,

la constitution du dépôt en terme de granulométrie,

la quantité déposée par rapport à la quantité clapée.

Déplacement du nuage turbide

La connaissance de la courantologie permettra de multiplier les essais correspondant aux différentes situation de direction et de vitesses des courants, il sera alors possible de :

déterminer le sens et la distance parcourue selon les conditions dynamiques,

de calculer la concentration en particules solides dans le panache,

de préciser la quantité restant en suspension par rapport à la quantité rejetée.

Nécessité de multiplier les calculs

Cette multiplicité permet d'avoir une vue générale des conséquences de plusieurs clapages, donc de bien définir les zones impactées.

4.7.2.3.3 - Utilisation du modèle ADDAMS

Type de résultats fourni

Le modèle STFATE simule les phases de descente convective, d'effondrement dynamique puis de transport- diffusion. Le fichier de sortie comporte d'une part les données d'entrée (*bathymétrie*, position du point de clapage dans la grille, caractéristiques des produits de dragage rejetés et de l'opération de rejet), d'autre part, les calculs intermédiaires (densité globale de la mixture, tension de frottement sur le fond, pas de temps de calcul des 2 premières phases), et enfin les résultats finaux des 3 étapes. La simulation aboutit à 2 types de résultats principaux :

l'évolution tout au long de la simulation des caractéristiques des nuages formés,

pendant la phase de transport - diffusion, l'évolution spatio-temporelle de la répartition des produits de dragage entre 2 états : mise en suspension dans la colonne d'eau et sédimentation sur le fond.

Bilan et limites de ce modèle

Le comportement des sédiments rejetés en eau libre est simulé par la modèle STFATE selon 3 étapes distinctes. Comme tout modèle, STFATE ne prend pas en compte toute la complexité des mécanismes entrant en jeu. Cependant, le concept des nuages convectifs multiples permet une approche relativement réaliste et "souple" (le modèle peut s'adapter à différents types de barges, à une barge en marche pendant le rejet ou encore au cas de consolidation des sédiments dans le puits). Les équations gouvernant le mouvement des particules de sédiment changent d'une étape à l'autre, ainsi que le pas de temps de calcul utilisé. Lors de la première étape, appelée descente convective, les nuages chutent sous l'influence de la gravité. Le passage vers la phase d'effondrement dynamique des nuages s'effectue soit en cas d'impact sur le fond soit lorsque les nuages atteignent un niveau de flottabilité neutre. La descente des nuages est alors restreinte et l'étalement des nuages s'effectue sur le plan horizontal. Pendant les 2 premières phases, le comportement des sédiments rejetés est fortement lié à la dynamique de l'opération de rejet. La dernière phase à plus long terme de transport - diffusion débute lorsque le

courant ambiant et la turbulence déterminent l'étalement des nuages qui n'est donc plus sous l'influence de la dynamique de l'opération de rejet.

Les résultats d'une simulation STFATE dépendent d'une multitude de facteurs. Les conditions hydrodynamiques du site de clapage (*bathymétrie*, densité, courant), le type d'équipement utilisé pour l'opération de rejet, les caractéristiques sédimentologiques des produits de dragage constituent les données d'entrée du modèle permettant de simuler un cas en particulier. L'influence des données liées à l'opération de clapage intervient au niveau des 2 premières étapes, alors que les conditions hydrodynamiques jouent un rôle tout au long de la simulation.

Définir le contexte d'une simulation STFATE revient simplement à répondre aux questions : où ?, comment ?, et quoi ?. Cette description doit donc être précise pour obtenir des résultats représentatifs, d'autant plus qu'elle comporte déjà des hypothèses simplificatrices (non prise en compte de la houle, profil de vitesse invariant dans le temps, fond plat,...). Cependant, l'influence de ces paramètres d'entrée sur les résultats finaux de la simulation est plus ou moins importante. La description du site de rejet et des produits de dragage nécessite plus de précision que celle de l'opération de clapage. En effet, le choix du profil vertical de vitesse et la connaissance de la granulométrie des produits de dragage constituent 2 facteurs importants. Les variables posant le plus de problèmes sont les vitesses de chute et les tensions critiques de cisaillement des différentes classes granulométriques, ainsi que la tension critique de frottement sur le fond.

4.7.2.4 - Choix et définition des mesures pour supprimer, réduire et compenser

CREOCEAN s'est appuyé sur sa connaissance de la zone d'étude, de par ses nombreux travaux menés dans la zone de Fos notamment pour des industriels et ses missions de terrain effectuées depuis plusieurs années maintenant.

L'expérience acquise par ses chargés d'études ainsi que les nombreuses consultations effectuées ont permis de proposer certaines mesures qui pourraient être adoptées.

4.8 - MESURES ENVISAGEES POUR SUPPRIMER, REDUIRE ET SI POSSIBLE, COMPENSER LES CONSEQUENCES DOMMAGEABLES DU PROJET

4.8.1 - Mesures générales

Il convient de noter que le choix des sites d'immersion (cf. 4.5.3.2) a fait l'objet d'une attention particulière afin de réduire, voire de supprimer – c'est le cas des risques de retour à la côte des matériaux déposés ou en suspension – les impacts des opérations visées. A titre d'information, on peut estimer le surcoût du clapage sur un site à 70 m de fond par rapport à un site sur 50 m de fond de l'ordre de 15 %. Le budget global des opérations inclut donc ce surcoût.

4.8.1.1 - Cahier des charges environnement

Les recommandations techniques de l'étude d'impact et les observations faites au cours de la procédure d'enquête publique serviront à établir un Cahier des Prescriptions Spéciales relatives à l'Environnement (C.P.S.E.).

Ce cahier sera annexé au Dossier de Consultation des Entreprises (D.C.E.) de manière à ce que ces entreprises justifient leurs méthodes de travail au regard de la réduction des impacts des travaux sur l'environnement.

Les entreprises mentionneront les dispositions de réduction des impacts et de protection de l'environnement qu'elles adopteront lors du déroulement du chantier dans un Schéma Organisationnel du Plan Assurance Environnement (S.O.P.A.E.) de leur Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité (S.O.P.A.Q.).

4.8.1.2 - Mesure relative aux incidences indirectes

Considérant que, bien qu'elle soit modérée, l'incidence indirecte des travaux sur la ressource halieutique est la plus significative, il est prévu la mise en place d'un projet d'aménagement de récifs artificiels comme compensation vis-à-vis des activités de pêche professionnelle.

Compte tenu de la fréquentation (prud'homie de Martigues essentiellement) des zones dans lesquelles les sites de clapages sont prévus, il semble pertinent d'envisager un projet sur la Côte Bleue. Cette portion de littoral présente en effet des caractéristiques favorables à l'implantation de récifs, et concerne également la même prud'homie.

A ce stade, le Port Autonome de Marseille n'a pas souhaité engager d'étude de définition de ces aménagements, car :

- il tient à ce que ce projet soit celui de la prud'homie de Martigues, c'est-à-dire que les pêcheurs soit pleinement associés à la définition des objectifs (repeuplement, protection, exploitation) et des caractéristiques de cet aménagement.

- il est nécessaire de prendre en compte ce projet dans une démarche d'aménagement et de gestion globale de la Côte Bleue que le Port Autonome ne maîtrise pas.

Pour ces raisons, il paraîtrait opportun de confier ces missions de maîtrise d'ouvrage au Parc Marin de la Côte Bleue.

Le montant alloué à cette mesure et sa mise en œuvre est de 1,5 Millions de Francs (228 700 Euros), sous réserve de la réalisation globale des travaux de dragage envisagés. Pour le cas où ces travaux devaient être réduits, ce montant serait diminué au prorata du montant des travaux effectivement réalisés.

4.8.2 - Mesures particulières au domaine maritime

4.8.2.1 - Mesures pour limiter les effets du dragage

Compte tenu du procédé hydraulique de dragage utilisé, l'impact majeur qui aurait pu être la remise en suspension et la diffusion de particules, sera supprimé. En conséquence, il n'est pas nécessaire de recommander la mise en place de mesures de réduction tel un rideau de géotextile ou autres techniques pour limiter cette diffusion.

Toutes les autres mesures pour signaler notamment la zone d'emprise des travaux de dragage en cours de jour comme de nuit font partie des mesures de chantier et des procédures réglementaires à respecter.

4.8.2.2 - Mesures pour prévenir la pollution des eaux sur le littoral

Les produits immergés ou mis à terre ne sont pas contaminés en contaminants métalliques ou organiques. En conséquence, la solubilisation des polluants pour ces deux devenir n'est pas à considérer et aucune mesure n'est à proposer.

Le rejet des eaux de surverse provenant de la décantation des matériaux grossiers dans les casiers sera dimensionné pour réduire de façon acceptable l'apport en matières en suspension (MES: 20 mg/l à 30 mg/l) pour les eaux du fond de darse 2, même si en grande partie les matériaux évacués par la surverse précipitent dans la zone des travaux. Compte tenu du débit de refoulement (2 000 m³/h ou 48 000 m³/jour [hypothèse de 1 élinde]), les flux en matières en suspension seront compris entre 960 kg/jour à 1 440 kg/jour.

Afin de limiter la diffusion et le transport des particules fines lors du clapage des matériaux dragués sur les sites projetés (cf. § 4.6.3.3 – Mode opératoire de l'immersion), l'immersion sur chaque site sera conditionnée aux conditions météorologiques :

- par tout type de vents, l'organisation d'alternance mise en place (cf. § 4.6.3.3 - Mode opératoire de l'immersion) entre les sites Est et Ouest sera respectée,

néanmoins, par vent de Sud-Est, le clapage sera réalisé préférentiellement sur le site Est.

4.8.2.3 – Amélioration des connaissances

Le Port Autonome de Marseille, conscient de la nécessité de maîtriser au mieux les impacts des projets de dragage participe au groupe GEODE (Groupe d'Etude et d'Observation des Dragages et de leur Environnement) depuis décembre 1990.

Dans ce même souci, il souhaite s'engager auprès d'organismes partenaires compétents pour améliorer les connaissances disponibles, tant en matière de modélisation et de description des phénomènes et de leurs impacts, qu'en ce qui concerne les sites de dépôt et leur environnement marin.

4.8.2.3.1 – Programme de recherche LITEAU

Afin de préparer les grandes opérations de dragage présentées ici, Le Port Autonome de Marseille s'est donc associé au Service Maritime des Bouches-du-Rhône et à l'IFREMER dans le programme LITEAU.

Il a pour finalité d'étudier les mécanismes du devenir des immersions des boues de dragage par la mise en place d'outils (modèles) permettant de simuler et prévoir le devenir de la charge particulaire et des contaminants associés, après clapage expérimental en mer (large Golfe de Fos).

Ce programme a été enrichi par la campagne FOS 2001. Cette campagne prévoyait au cours de la même opération d'évaluer la toxicité potentielle des sédiments dragués puis rejetés en mer, et son évolution depuis le bassin portuaire jusqu'au dépôt sur site.

Ce double projet vise donc à caractériser les effets physiques, chimiques et biologiques d'une opération d'immersion de sédiments contaminés sur la faune benthique.

En terme de modélisation, ce programme doit permettre de valider sur le terrain les modèles mathématiques décrivant le devenir des produits de dragage après immersion. Cette démarche de modélisation repose sur l'adaptation du modèle de dispersion pour le transport hydrosédimentaire et son couplage avec un modèle géochimique qui sera développé pour simuler la spéciation de certains contaminants.

En terme d'écotoxicité, FOS 2001 consiste à faire un suivi analytique d'organismes bio- indicateurs et des tests d'écotoxicité pendant trois phases du processus d'immersion : avant, à court et moyen terme après immersion.

Les acquis scientifiques de ces deux programmes menés conjointement permettront aux bureaux d'études et aux services instructeurs des autorisations d'immersion d'évaluer l'étendue des zones impactées et la toxicité globale de l'opération. Une méthodologie de suivi généralisable à d'autres sites sera proposée à terme.

L'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC) contribue financièrement à ces études. Hors subventions de l'Agence de l'Eau, la participation financière du Port Autonome de Marseille s'élève à 560 000 FF (85 371,4 Euros).

4.8.2.3.2 – Thèse en partenariat avec le Centre d'Océanologie de Marseille

Pour la communauté scientifique attachée à la description des milieux marins locaux et de leur dynamique, les travaux envisagés sont une occasion unique de suivre les incidences d'un apport important de matériaux meubles. Afin d'exploiter au mieux le planning des opérations, il est prévu de mettre en place une thèse avec le Centre d'Océanologie de Marseille (COM) sur la base du schéma suivant :

- suivi physico-biologique des sites de clapage avant, pendant et après la phase 1 des travaux, soit dès le premier semestre 2002 et jusqu'en 2005 ;
- analyse des données recueillies pour rendre compte des effets sur l'environnement ;
- recueil de données et analyse corrélative sur les usages et activités potentiellement concernées par des incidences ;
- mise en place éventuelle de mesures correctrices dans la gestion des dépôts pour les phases ultérieures de travaux.

Le Port Autonome de Marseille souhaite que ces travaux relèvent de la recherche appliquée et sollicitera une étroite collaboration avec les professionnels de la pêche pour évaluer au mieux les mesures à mettre en œuvre pour la réduction des impacts sur la ressource halieutique dans les phases de travaux prévues au-delà de 2005 (P2 et P3).

4.9 – BIBLIOGRAPHIE

AFFAIRES MARITIMES DE MARTIGUES, 1991 : "Monographie des pêches maritimes".

AGERO C., 2000 : "Distribution de la radioactivité dans les sédiments du prodelta rhodanien en 1997. Comparaison avec celles obtenues précédemment et analyse de l'influence des divers facteurs environnementaux sur cette évolution." *Mémoire de stage de DEA SEM – COM/OSU*, Université Aix- Marseille II, 45 p.

ALLEN J. R. L., 1977 : "Physical processes of sedimentology". 248 p.

ALOISI J.C., MONACO A., MILLOT C. et PAUC H., 1979 : "Dynamique des suspensions et mécanismes sédimentologiques sur le plateau continental du Golfe du Lion". *Comptes- rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, Série D, 289, 879- 882.

ALOÏSI J.-C., CAMBON J.-P., CARBONNE J., CAUWET G., MILLOT C., MONACO A. et PAUC H., 1982 : "Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules en milieu marin. Application au delta du Grand Rhône". *Oceanologica Acta*, n°5, 481- 491.

ALOISI J.-C., 1986 : "Sur un modèle de sédimentation classique deltaïque. Contribution à la connaissance des marges passives". *Thèse de 3ème cycle*, Univ. de Perpignan, 162 p.

ANTEA, août 2000 : "Surveillance du biseau salé de la nappe de la Crau en 2000". *Port Autonome de Marseille*. Rapport n° A21086A.

ANTEA, mars 2001 : "Evolution de la salinité dans le secteur de la Pissarotte (Bouches- du- Rhône). Rapport de synthèse 2000". *Port Autonome de Marseille*. Rapport n° A22500/A.

ANTEA, septembre 2001 : "Influence du projet de dragage dans la darse 2 sur la position du biseau salé dans la nappe de Crau. Commune de Port- Saint- Louis- du- Rhône (Bouches- du- Rhône). *Port Autonome de Marseille*. Rapport n°A24456.

BCEOM, avril 1995 : "Bassin- Ouest – Darse 3. Projet GIRASSOL : dragage d'une souille à -23 CM. Dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau". *Port Autonome de Marseille*.

BCEOM, octobre 1998 : "Plate- forme logique FOS-DISTRIPORT. Dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau". *Port Autonome de Marseille*.

BCEOM, novembre 1999 : « Aménagement du site du Canier sur la Presqu'île de Saint- Mandrier. Dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. Dossier d'enquête publique au titre de la loi sur l'eau et de la loi Bouchardeau ». *Direction Générale de l'Armement*.

BERNER L., 1967 : "Florule de Fos- sur- Mer". *Le Monde des Plantes*, 356 : 8- 9.

BETEREM / EDF SUD INGÉNIERIE, juillet 1992 : "Marseille – Terminal Passagers. Etude d'impact. Document 2. Etat initial". *Port Autonome de Marseille*.

BLANC J.-J., 1977 : "Recherches de sédimentologie appliquée au littoral du Delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi". *CNEXO pub.*, 75/1193, 69 p.

BLANC F. et LEVEAU M., 1973 : "Plancton et eutrophie : aire d'épandage rhodanienne et Golfe de Fos". *Thèse Doct. ès Sci.*, Université Aix-Marseille II, 681 p.

BOLOPION J., FOREST A., SOURD L.-J., janvier 2000 : "Rapport sur l'exercice de la pêche dans la zone côtière de la France". *Ministère de l'Agriculture et de la Pêche*.

BROCHE P., DEVENON J.L, FORGET P., DE MAISTRE J.C., NAUDIN J.J et CAUWET G., 1998 : "Experimental study of the Rhône plume. Part I : physics and dynamics". *Oceanologica Acta*, vol. 21, n° 6, 725- 738.

CASITAS S., 1999 : "Modélisation du transport de la matière particulaire sur le plateau du Golfe du Lion en hiver". *Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier – Toulouse*.

C.E.E.P., 1992 : "Liste rouge des oiseaux nicheurs dans la région Provence – Alpes – Côte d'Azur". *Faune de Provence*, 13 : 5- 13.

CHASSEFIERE B., 1990 : "Mass-physical properties of superficial sediments on the Rhône continental margin : implications for the nepheloid benthic layer". *Continental Shelf Research*, 10 (9- 10), 857- 867.

CHAMLEY H., 1971 : "Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée". *Thèse de doctorat ès Sci.*, Univ. Aix-Marseille, 401 p.

CONSERVATOIRE DE L'ESPACE LITTORAL ET DES RIVAGES LACUSTRES, 1995 : "L'Atlas des espaces naturels du littoral – PACA – de Salin-de-Giraud à Port-de-Bouc (Golfe de Fos)". n°65.

COURP T. et MONACO A., 1989 : "Sediment dispersal and accumulation on the continental margin of the Gulf of Lion : sedimentary budget". *Continental Shelf Research*, 10 (9- 11), 1063- 1087.

CREOCEAN, février 2000 : "Etude d'impact de l'effluent industriel en Darse n°2". *ARCO- CHIMIE France*.

CREOCEAN, mars 1997 : "Etude d'impact des effluents industriels en Darse n°2", *ELF- ATOCHEM*.

CREOCEAN, décembre 2000 : "Caractérisation des fonds autour de l'épave de l'Erika après la fin des opérations de pompage". *TOTAL FINA*.

DARNAUDE A., HARMELIN-VIVIEN M.- L., SALEN-PICARD C. 2001 : "Food partitioning among flatfish (Pisces, Pleuronectiforms) juveniles in Mediterranean coastal shallow sandy areas". *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 81 : 119- 127.

DEMARQ H. et WALD L., 1984 : "La dynamique superficielle du panache du Rhône d'après l'imagerie infrarouge satellitaire". *Oceanologica Acta*, n°2, 159- 162.

ERAMM/TERSUD/COM, février 1994 : "Recherche de sites d'immersion de déblais de dragages dans le Golfe de Fos". *Port Autonome de Marseille*.

ESTOURNEL C., KONDRACHOFF V., MARSALEIX P. et VEHIL R., 1997 : "The plume of the Rhône : numerical simulation and remote sensing". *Continental Shelf Research*, 17, 899- 924.

FIERS V, GAUVRIT B., GAVAZZI E., HAFFNER P., MAURIN H. et coll., 1997 : "Statut de la faune de France métropolitaine. Statuts de protection, degré de menace, statuts biologiques". *Col. Patrimoines naturels – Paris, Service du Patrimoine Naturel / IEGB/ MNHN, RNF, Ministère de l'Environnement*, volume 24, 225 p.

GAERTNER J.C., MAZOUNI N., SABATIER R., MILLET B., 1999 : "Spatial structure and habitat associations of demersal assemblages in the Gulf of Lions: a multicompartamental approach". *Mar. Biol.* 135:199- 208.

GEHU J.M., 1996 : "Végétation littorale. Prodrôme des végétations de France". *Document de Travail. Bailleul*, 22 p.

IFREMER, 1985 : "Etat de la pollution à Fos et à Berre". Etude régionale intégrée, 07/85.

IFREMER, 1998 : "Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseau National de la Qualité du Milieu Marin". *Edition IFREMER et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement*, 52 p.

IFREMER, 1999 : "Résultats de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral (Laboratoire côtier de Toulon- La Seyne). Départements : Bouches- du- Rhône, Var et Alpes- Maritimes". *Site internet IFREMER (<http://www.ifremer.fr/>)*.

IFREMER, 1989 : "Enquête- cadre sur la pêche artisanale en région Provence Alpes Côte d'Azur. Mai à juillet 1989 du Cap Couronne à la Frontière Italienne". *Conseil Régional Provence- Alpes- Côte d'Azur*.

INTERVAL EDITIONS, 2001 : "Votre Livre de Bord/Bloc Marine". *37^{ème} Edition, Parution Annuelle*, 756 p.

ISENMANN P., 1993 : "Oiseaux de Camargue". *Société d'études Ornithologiques, Muséum National d'Histoire Naturelle & Laboratoire d'Ecologie Générale, Brunoy*. 158p.

LAHUEC G., 1973 : "Contribution à l'étude de quelques problèmes géologiques liés au dragage en mer", Thèse de 3^{ème} cycle, *Université de Nantes*, 238 p.

MILLOT C., 1990 : "The Gulf of Lion's hydrodynamics". *Continental Shelf Research*, 10 (9- 11), 885- 894.

MOLINA, 1996 : "Flore de Camargue". *Parc Naturel Régional de Camargue*. 78 p.

MONACO A., BISCAYE P., SOYER J., POCKLINGTON R. et HEUSSNER S., 1990 : "Particles fluxes and ecosystem response on a continental margin : the 1985- 1988 Mediterranean ECOMARGE experiment". *Continental Shelf Research*, 10 (9- 11), 809- 840.

NAUDIN J.J, CAUWET G., LEVEAU M. , LOCHET F., PAUC H., ROMANO J.C. et SEMPERE R., 1992 : "Le néphéloïde benthique au large du Rhône. Transferts particuliers à l'interface continent-océan". *Oceanologica Acta*, Vol. 15, n° 6, 621- 638.

NAUDIN J.J. et CAUWET G., 1997 : "Transfer mechanisms and biogeochemical implications in the bottom nepheloid layer. A case study of the coastal zone off the Rhône river France". *Deep- Sea Reseach II*, 44, 551- 575.

NOËL M.- H., 1996 : "Le plutonium comme traceur du transfert et de l'accumulation des apports particuliers du Rhône en Méditerranée Nord- Occidentale". *Thèse de doctorat*, Univ. de Paris XII – Val de Marne, 255 p.

PICARD J., 1965 : "Recherches qualitatives sur les biocénoses marines de substrats meubles dragables de la région marseillaise". *Thèse Université Aix- Marseille*, 158 p.

PLANQUE G. et PAM- INSEE-ORT, juin 2001 : "L'impact de l'activité portuaire sur le transport terrestre et la logistique Provence- Alpes- Côte d'Azur.

RADAKOVITCH O., CHARMASSON S., ARNAUD M. et BOUISSET P., 1999 : ²¹⁰Pb and caesium accumulation in the Rhône delta sediments". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48, 77- 92.

ROCAMORA G. et YEATMAN- BERTHELOT D., 1999 : "Oiseaux menacés et à surveiller en France. Listes rouges et recherche de priorités. Populations. Tendances. Menaces. Conservation". *Société d'Etudes Ornithologiques de France, Ligue pour la Protection des Oiseaux - Paris*. 560 p.

RODITIS J.-C., 1993 : "Caractérisation de la charge solide en suspension et alluvionnement du Rhône dans le secteur Beaucaire- Arles. Crues et modalités du transfert sédimentaire. Bilan actuel et évolution récente". *Mémoire de DEA*, Institut de Géographie, Univ. de Provence, Aix- Marseille I, 135 p.

SALEN- PICARD C., BELLAN G., BELLAN- SANTINI D., ARLHAC D. et MARQUET R., 1996 : "Changements à long terme dans une communauté benthique d'un golfe méditerranéen (Golfe de Fos)". *Oceanologica Acta* – vol.20, n° 1, 299- 310.

SALEN- PICARD C., 1981 : "Evolution d'un peuplement de vase terrigène côtière soumis à des rejets de dragages, dans le Golfe de Fos". *Téthys*, 10 (1), 83- 88.

SHEHATA S., 1984 : "Contribution à la connaissance des Soleidae (Poissons, Téléostéens) du golfe du Lion". Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 311 p.

SHOM, 1997 : "Instructions Nautiques – France (côte Sud) de la frontière espagnole au Cap de l'Aigle". *Ed. SHOM – Paris*, volume D 2.1, 317 p.

SOGREAH, 1979 : "Catalogue sédimentologique des côtes françaises – Côtes de la Méditerranée – De Sète à Marseille". *Collection de la direction des études et recherches d'électricité de France - Ed. EYROLLES*, n°52, 113- 194.

- SUANEZ S., 1997** : "Dynamiques sédimentaires actuelles et récentes de la frange littorale orientale du delta du Rhône". *Thèse de doctorat ès Sci.*, Univ. Aix-Marseille I.
- THEBAULT H., ARNAUD M., CHARMASSON S. et DIMEGLIO Y, 2000** : "Evaluation de la qualité des eaux basée sur des intégrateurs biologiques en Méditerranée. Campagne RINBIO98 : Radionucléides". *Rapport IPSN/DPRE/SERNAT/2000- 28*, 34 p.
- THEBAULT H. et ALLIOTT E., 2000** : "Transferts de radionucléides et de matière organique en zone côtière méditerranéenne étudiés à l'aide d'un mésocosme in situ de grand volume (MISCO 98)". *Rapport IPSN/DPRE/SERNAT/2000- 30*, 34 p.
- TOUR DU VALAT, 1999 a** : "Diagnostic Environnemental de la Zone Industrielle de Fos – Bassins Ouest. Section 1 : Etat des lieux et évaluation environnementale". *Port Autonome de Marseille*. 84 p.
- TOUR DU VALAT, 1999 b** : "Diagnostic Environnemental de la Zone Industrielle de Fos – Bassins Ouest. Section 2 : Synthèses et recommandations". *Port Autonome de Marseille*. 31 p.
- TUCKER G.M. et HEATH M.L., 1994** : "Birds in Europe : Their Conservation Status". *Birdlife Conservation Series, BirdLife International*. n°3, 600 p.
- VIANET R., QUIGNARD J.P., TOMASINI J.A., 1989** : "Age et croissance de quatre poissons pleuronectiformes (flet, turbot, barbue, sole) dans le Golfe du Lion. Evolution de la structure de la sagitta". *Cybium*, 3^{ème} Sér. 13(3) : 247- 258.
- YEATMAN- BERTHELOT D. et JARRY G., 1995** : "Nouvel atlas des oiseaux nicheurs de France. Période 1985- 1989". *Société Ornithologique de France*. 775 p.

4.10 – GLOSSAIRE

Adsorbé : fixé à la surface d'une substance.

Aliquote : fraction ou sous-échantillon.

Anthropique : dû à l'homme, fait par l'homme.

Aquifère : couche qui contient de l'eau.

Association végétale : groupement type de plantes aux exigences écologiques voisines, organisé dans l'espace, désigné d'après le nom de l'espèce dominante, statistiquement défini, et qui sert de base aux classifications phytosociologiques.

Avifaune : faune d'oiseaux.

Bathymétrie : mesure des profondeurs marines.

Benthos : ensemble des organismes vivant en étroite relation avec les fonds subaquatiques.

Biocénose : ensemble des organismes vivants qui occupent le même milieu (faune, flore, bactéries).

Biotope : cadre physique où vivent les biocénoses. Le biotope se définit par un climat, un sol, la présence d'eau, etc. (facteurs abiotiques).

Cnidaires : embranchement d'invertébrés marins fixés ou non, caractérisés par des cellules urticantes spécifiques.

Coin salé : les eaux fluviales se jettent dans un milieu de forte densité et de salinité élevée. L'eau douce, plus légère, "glisse" sur l'eau de mer plus lourde. De la même manière, l'eau de mer pénètre sous l'eau douce, créant ainsi un fort gradient de salinité (halocline). Ce phénomène peut s'observer jusqu'à 40 km en amont de l'embouchure pendant les périodes d'étiages. Il se produit également au sein des aquifères d'eau douce qui communiquent avec la mer.

Congénère : se dit de composé de même genre.

Dégradé : se dit d'une forêt ou d'un autre groupement végétal maltraité par une exploitation ou une autre intervention abusive. Une forêt dégradée par le pâturage (par exemple).

Démersal : qualifie les espèces qui vivent en permanence à l'état adulte sur le fond ou à proximité du fond.

Dépositivore : qualifie les organismes se nourrissant des particules nutritives déposées à la surface du sédiment ou dans le sédiment.

Détritique : se dit de dépôts provenant de la désagrégation mécanique des roches existantes.

Distal : qui est le plus éloigné du centre. Contraire : proximal.

Estran : partie du littoral alternativement couverte et découverte par la mer, ou zone de balancement des marées moyennes.

Etiage : se dit d'un fleuve lorsque son débit est au plus faible. Contraire : Crue.

EVP : unité couramment utilisée en matière de trafic conteneurisé. EVP = Equivalent Vingt Pieds (20'). 2 EVP = Un quarante pieds (40'). Au PAM, 1 EVP # 10 Tonnes selon les statistiques 2000.

Fetch : longueur sur laquelle s'applique le vent sur un plan d'eau.

Floculation : agglomération de particules colloïdales destabilisées.

Friche : formation végétale herbacée composée essentiellement d'espèces bisannuelles. Les friches correspondent généralement à des habitats de recolonisation après une perturbation plus ou moins longue (culture abandonnée par exemple).

Gîte : inclinaison longitudinale du navire.

Grau : embouchure d'un fleuve ou d'un étang (en provençal).

Groupes systématiques : groupes déterminés d'espèces vivantes (embranchements, classes, ordres, familles, genres).

Halogénés : se dit de composés contenant un ou plusieurs éléments (fluor, chlore, brome, iode, astate)

Halophile : se dit des organismes qui croissent exclusivement, ou de préférence, sur des milieux salés (contenant des chlorures - sel).

Indice trophique : indice biologique fonctionnel qui traduit le degré de perturbation du peuplement par une accumulation de matière organique dans le milieu.

Lévigation : (Sédimentologie, Dynamique sédimentaire) Se dit d'un milieu lorsque les conditions hydrodynamiques sont élevées et donc que le milieu est agité. Des conditions de lévigation empêchent la décantation (antonyme) du sédiment.

Mégarides : rides dues à l'agitation de la mer formées à la surface du sédiment meuble.

Microtidal : se dit d'un bassin marin lorsque l'amplitude de la marée y est très faible. La mer Méditerranée est une mer microtidale.

Néphéloïde : système de transfert de la matière en suspension. La confrontation des eaux fluviales avec les eaux marines crée des phénomènes physico-chimiques de floculation. Il en résulte la formation en mer d'une structure hydrologique complexe et permanente.

NGF : Nivellement Général de la France (source IGN). Le 0,0 NGF se situe à +0,33 m au dessus du zéro hydrographique ou zéro des cartes marines (0 m C.M.).

Organoétains : composés organiques de l'étain.

Overpanamax : navire dont les dimensions ne lui permettent pas de passer par le canal de Panama.

Pélagique : qui vit en haute mer.

Pélitique : sédiment dont la taille des particules est inférieure à 63 µm (fraction fine).

Polychète : classe d'animaux vermiformes, à anneaux similaires pourvus de lames natatoires aplaties et de nombreuses soies, de l'embranchement des annélides.

Prodelta : zone d'envasement précoce au débouché d'un fleuve. Sorte de delta sous-marin.

Production primaire : quantité de matière organique élaborée par les végétaux photosynthétiques pendant une période donnée.

Progradation : Phénomène de l'avancée progressive vers le large, du front d'un delta sous-marin du fait d'une importante sédimentation détritique. Contraire : Régression.

Proximal : qui est le plus près du centre. Contraire : distal.

Sansouire : paysage et formation végétale, dominés par des salicornes buissonnantes. Synonyme : Engane.

Seiche : onde en océanographie physique se produisant dans un bassin semi-fermé.

Sensibilité : fragilité des peuplements ou du patrimoine naturel à des facteurs de stress.

Silt : particule sédimentaire dont le diamètre est compris entre 0,063 mm et 0,002 mm. Les silts se situent entre les argiles et les sables.

Squat : enfoncement de la partie arrière du bateau lors de l'accélération.

Stratégie trophique : mode de nutrition des espèces.

Substrat : support de tout peuplement benthique.

Suspensivore : qualifie les organismes se nourrissant des matières en suspension dans l'eau.

Talweg : ligne imaginaire qui joint les points les plus bas d'une vallée et suivant laquelle s'écoule les eaux.

Taxonomique : relatif à la classification systématique des êtres vivants.

Terrigène : qui est apporté à la mer par les fleuves.

Thermocline : fort gradient de température se produisant avec la stratification thermique de la colonne d'eau suite au réchauffement de la couche superficielle.

Tirant d'Eau Admissible (TEA) : tirant d'eau maximal du navire autorisé à pénétrer en darse 2 et chenal d'accès. Le TEA est utilisé dans le calcul des profondeurs à draguer :

Profondeur à draguer = TEA + Enfoncement + Pied de pilote + tolérance dragage

Trophique : qui concerne la nutrition.

Turbidité : état d'un liquide trouble. S'oppose à eau claire.

Upwelling : phénomène physique de remontée d'eau profonde et froide. Après un fort coup de vent de la côte vers le large, il s'en suit un déplacement de la masse d'eau superficielle vers le large. Cette masse d'eau sera remplacée par la remontée d'eau profonde et froide.



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

**Opération de dragages – Approfondissement
du terminal à conteneurs de Fos -
Approfondissement pour l'extension des
capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)**



***PIECE 5. Moyens de surveillance prévus et si l'opération
présente un danger, les moyens d'intervention en cas
d'incident ou d'accident***



PIECE 5 :

MOYENS DE SURVEILLANCE PREVUS ET, SI L'OPÉRATION PRÉSENTE UN DANGER, LES MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT

5.1 - MOYENS DE SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DES SITES

5.1.1 - Justification

La zone impactée par les opérations de dragage / transport / devenir des matériaux est majoritairement la zone d'immersion, car :

le volume de matériaux fins déposés y est très élevé (16 750 000 m³),

la superficie des deux zones circulaires de dépôt est très grande (2 x 5 km²),

une part des matériaux clapés diffuse dans les eaux superficielles avant de se déposer,

les peuplements benthiques sont à la base de la chaîne alimentaire et du retour des espèces démersales d'intérêt commercial pour la pêche.

5.1.2 - Sites de dragage

5.1.2.1 – Suivi biologique et de la qualité de l'eau

Les fonds de la darse 2 non directement impactés par les travaux de dragage (extraction), de même que les sites dragués en raison de la qualité pauvre des peuplements inféodés à ce type de substrat, ne nécessitent pas de mettre en place une surveillance des peuplements biologiques de substrat meuble.

Les eaux clarifiées sont issues des casiers de décantation à terre des matériaux grossiers issus des dragages. Le rejet s'effectuera dans la zone de dragage, partie médiane de la darse 2.

Les matériaux déposés sont grossiers (galets de Crau). Les bassins seront dimensionnés pour réduire la concentration de matières en suspension (MES) en sortie à des valeurs acceptables, compte tenu du débit de refoulement (2 000 m³/h ou 48 000 m³/jour [hypothèse de 1 élinde]), pour le milieu récepteur (soit des concentrations comprises entre 20 mg/l et 30 mg/l et respectivement des flux compris entre 960 kg/jour et 1 440 kg/jour).

Ce rejet autorisé devra faire l'objet d'un contrôle (fréquence bi-hebdomadaire) en regard de la concentration limite fixée des matières en suspension (MES) en sortie.

Le coût des analyses pour ce suivi est estimé, par phase, à environ 3 000 FF HT (460 Euros HT).

5.1.2.2 – Suivi de la qualité de l'aquifère. Hydrogéologie

Afin d'avoir un état initial plus précis, mais surtout afin de mieux préciser l'impact hydraulique dans la partie captive de l'aquifère de la Crau, il est prévu d'installer un piézomètre (jusqu'à 25 m) de contrôle des niveaux et de la salinité hors d'eau (à terre) en fond de la darse 2.

Un contrôle mensuel à bi-mensuel pourrait être effectué pendant la durée des travaux de dragage. La pose du piézomètre est estimée à 30 000 FF HT (4 570 Euros HT).

5.1.3 - Sites de clapage

5.1.3.1 - Suivis biologique et physico- chimique

Peuplements de fonds (benthiques)

Les mesures de suivi qui devront être mises en place sur et à proximité des deux sites de clapage Est et Ouest concernent la détermination des caractéristiques physiques / chimiques (granulométrie [17 classes de

diamètre], Carbone Organique Particulaire [COP] et contaminants [métaux, PCBs et congénères, Hydrocarbures polyaromatiques]) des substrats meubles associées à la caractérisation de la macrofaune benthique.

La caractérisation de la macrofaune, la granulométrie et la mesure du COP seront effectuées à toutes les stations de chaque cercle. Les contaminants, dans les sédiments, seront analysés en trois stations par cercle : au centre, dans la zone impactée et hors de la zone impactée.

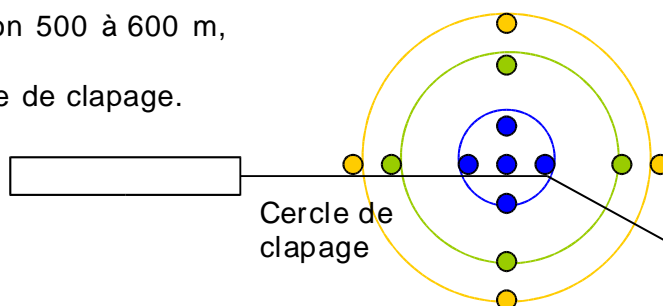
Par sites de diamètre 2 500 m, 13 stations pourront être disposées :

4 en dehors de la zone directement impactée (rayon de 1 400 à 1 500 m),

4 sur le pourtour du cercle de clapage (rayon de 1 250 m),

4 sur un cercle de rayon 500 à 600 m,

1 dans la zone centrale de clapage.



La saison idéale pour l'échantillonnage est le printemps.

Ce suivi pourra débuter avant le démarrage des travaux (phase 1) pour les 13 stations / site.

La périodicité d'échantillonnage en chaque point pourra être de 1 an durant les travaux (période 2002 – 2006) et ce jusqu'au printemps suivant les derniers travaux (phase 3). Au delà, la fréquence de suivi pourra être espacée selon une périodicité de 2 à 3 ans et à moyen terme l'utilité de la poursuite au vu des résultats de recolonisation devra être discutée.

La réalisation de ce suivi permettra de confirmer les temps de recolonisation des divers organismes *benthiques* sur les *substrats* meubles et également les incidences temporaires envers les usages dans et hors des sites.

Le coût d'une campagne d'échantillonnage et d'analyse de 26 échantillons (2 sites) est compris entre 110 000 FF HT (16 770 Euros HT) et 140 000 FF HT (21 350 Euros HT).

Pour 6 campagnes (2002, 2003, 2004, 2005, 2006 et 2007), le coût du suivi serait compris entre 660 000 FF HT (100 620 Euros HT) et 840 000 FF HT (188 100 Euros HT).

Bio- Indicateurs (moules)

Sur le modèle du Réseau INTégrateur BIologique (RINBIO) géré par IFREMER, des cages ou poches de mollusques bivalves (moules) pourront être

disposées en pleine eau (environ 10 m au dessous de la surface) dans les directions des panaches turbides générés par les clapages et selon les usages qui pourraient être impactés.

Sur ces organismes, initialement sains, calibrés et prélevés dans l'Anse de Carteau, seront recherchés les contaminants métalliques et organiques les plus courants (aluminium, arsenic, zinc, cadmium, chrome, cuivre, plomb, mercure – hydrocarbures polyaromatiques et congénères de polychlorobiphényles).

4 à 5 stations (lignes de mouillage balisées) peuvent être mises en place autour des cercles de clapage. 1 station devra être disposée à proximité de l'embouchure du Rhône. Elle servira de station de référence.

Les poches de moules devront être immergées au minimum deux semaines afin que les organismes puissent filtrer un volume d'eau conséquent et stocker dans leur chair les éventuels polluants. Par phase de travaux, 3 périodes de mises en place de ces bio- indicateurs peuvent être envisagées (début, mi- phase et fin).

Le coût de ce suivi, par phase, est estimé à 100 000 FF HT (15 250 Euros HT). Pour 3 campagnes, le coût est estimé à 300 000 FF HT (45 750 Euros HT).

5.1.3.2 - Suivi bathymétrique

Une bathymétrie fine sur les deux sites de clapage (5 km² l'un) devra être effectuée avant le démarrage de chaque phase d'immersion, soit avant le dépôt des volumes suivants :

6 000 000 m³ (phase 1), soit pour chaque site 3 000 000 m³,

5 985 000 m³ (phase 2), soit pour chaque site 2 992 500 m³,

4 765 000 m³ (phase 3), soit pour chaque site 2 382 500 m³.

En complément, une bathymétrie sera effectuée en fin de phase 1. Les bathymétries réalisées en fin de phase 1 et début de phase 2 donneront lieu, si nécessaire, à des investigations supplémentaires pour valider ou réévaluer les surfaces impactées.

Un profil tous les 50 mètres pourra être effectué en utilisant un système de positionnement par satellite en mode différentiel (DGPS). Une maille de 10 m pourrait être adoptée pour le rendu bathymétrique.

Ces bathymétries fines permettront de vérifier l'épaisseur des dépôts sur le fond et en conséquence de répartir les dépôts des autres phases en conséquence. Egalement, une bathymétrie réalisée après la phase 3 permettra de déterminer la hauteur totale, à l'issue des travaux, des matériaux déposés.

Au total, 5 suivis bathymétriques pourront être menés sur les sites de clapage. Le coût de chaque campagne est estimé à 80 000 FF HT (12 195 Euros HT). Le coût de l'ensemble des campagnes est estimé à 400 000 FF HT (60 975 Euros HT).

5.2 - MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT

L'opération projetée ne présente pas de risques spécifiques en dehors de la période des travaux.

Les moyens d'interventions doivent obéir à et sont définis par la réglementation :

Coordination des travaux par un agent de Sécurité Protection Santé (S.P.S.) au titre de la loi 93- 1418 du 31 décembre 1993 (coordination en matière de sécurité et de protection de la santé), du décret 94- 1159 du 26 décembre 1994 (coordination en matière de sécurité et de protection de la santé), et du décret 98- 1084 du 2 décembre 1998 (autorisation de conduite) et Arrêté du même jour et Recommandation CNAM n°R372 modifiée le 2 décembre 1999,

Rédaction d'un plan général de coordination,

Création d'une Commission Inter-entreprises de Sécurité, de Santé et des Conditions de Travail (C.I.S.S.C.T.),

Application des spécifications prévues dans l'arrêté d'autorisation pris au titre de la loi sur l'eau,

Application des prescriptions prévues dans l'arrêté d'autorisation pris au titre de la loi sur l'eau, en ce qui concerne le suivi écologique préconisé.



PORT AUTONOME DE MARSEILLE

**Opération de dragages – Approfondissement
du terminal à conteneurs de Fos -
Approfondissement pour l'extension des
capacités de Fos conteneurs (Fos 2XL)**



***PIECE 6. Eléments graphiques, plans et cartes utiles à la
compréhension des pièces du dossier***



PIECE 6 :

ELEMENTS GRAPHIQUES, PLANS

ET CARTES UTILES A LA

COMPREHENSION DES PIECES DU

DOSSIER, NOTAMMENT LES

PIECES 3 ET 4

Tous les documents graphiques, plans, cartes, figures et planches photographiques, nécessaires à la compréhension de chaque pièce du dossier, sont présentés dans chaque pièce.