

REGION LANGUEDOC ROUSSILLON



## PORT-LA NOUVELLE

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PHASE 3 : ESTIMATIONS DES FILIERES DE VALORISATION

RAPPORT N°8713239-AVP-DRA-R003



DATE : DECEMBRE 2014 REF : 8713239-AVP-DRA-R003

N°8713239-AVP-DRA2-R002, Port-La Nouvelle					
Mission de maitrise d'œuvre pour l'agrandissement du port. Etude pour la gestion des déblais de dragage – Phase 3 : Estimation des filières de valorisation					
Version	Description	Rédaction	Vérfié	Approuvé	Date
002	Version 2	Caroline Labaune (Créocéan)	Thibault Schvartz (Créocéan)	Olivier Meurant (Artelia)	Décembre 2014
001	Version 1	Caroline Labaune (Créocéan)	Thibault Schvartz (Créocéan)	Olivier Meurant (Artelia)	Novembre 2014

**SOMMAIRE**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE</b>	<b>5</b>
<b>1.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE</b>	<b>7</b>
<b>1.3. PROGRAMME DE TRAVAIL</b>	<b>7</b>
<b>2. POLITIQUE GENERALE DE GESTION DES SEDIMENTS EN FRANCE</b>	<b>8</b>
<b>3. QUALITE DES SEDIMENTS DANS LA ZONE DU PROJET</b>	<b>11</b>
<b>3.1. REFERENTIELS UTILISES</b>	<b>11</b>
<b>3.2. DONNEES ANTERIEURES</b>	<b>16</b>
3.2.1. RAPPEL DES RESULTATS	16
3.2.2. SYNTHÈSE	24
<b>3.3. CAMPAGNE 2014 – GEOTECHNIQUE</b>	<b>24</b>
3.3.1. GRANULOMETRIE	25
3.3.1.1. Sédiment superficiel	25
3.3.1.2. Colonne sédimentaire	27
3.3.1.3. Synthèse sur la granulométrie	29
3.3.2. COULEUR DES SEDIMENTS	29
3.3.3. ENRICHISSEMENT ORGANIQUE	30
3.3.3.1. Résultats des analyses	30
3.3.3.2. Synthèse sur l'enrichissement organique	32
3.3.4. CONTAMINATION CHIMIQUE DES SEDIMENTS	33
3.3.5. TESTS DE LIXIVIATION	36
<b>3.4. CONCLUSION SUR LA QUALITE DES SEDIMENTS DE LA ZONE DU PROJET</b>	<b>37</b>
<b>4. FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES</b>	<b>38</b>
<b>4.1. FILIERES EN MER : 1<sup>ERE</sup> VOIE DE VALORISATION</b>	<b>39</b>
4.1.1. REBLAIS DANS LA CONSTRUCTION DU PORT	39
4.1.2. RECHARGEMENT EN SABLE DES PLAGES	40
4.1.3. ALTERNATIVES AU RECHARGEMENT DE PLAGE	40
4.1.3.1. Rechargement au fil de l'eau	40
4.1.3.2. Réhabilitation des cordons dunaires	41
4.1.4. CLAPAGE EN MER	42
<b>4.2. FILIERES A TERRE : 2<sup>NDE</sup> VOIE DE VALORISATION</b>	<b>43</b>
4.2.1. STOCKAGE EN CARRIERE OU REHABILITATION DE CARRIERES	43
4.2.2. GENIE CIVIL ET AMENAGEMENT	45
4.2.2.1. Technique routière	45

4.2.2.2. Aménagement paysager	45
4.2.2.3. Produits de construction	45
4.2.2.4. Exemples	46
4.2.2.5. Avantages/inconvénients	46
4.2.3. VALORISATION AGRICOLE	46
4.2.4. COUVERTURE D'INSTALLATION DE STOCKAGE DE DECHETS	47
4.2.5. FILIERES DE MISE EN DEPOT A TERRE / D'ELIMINATION	47
4.2.5.1. Stockage dans les installations de stockages de déchets inertes ISDI	47
4.2.5.2. Stockage dans les installations de stockages de déchets non dangereux ISDND	47
4.2.5.3. Stockage dans les installations de stockages de déchets dangereux ISDD	48
4.2.6. LES TERRAINS DE DEPOTS DE SEDIMENTS	48
<b>5. FILIERES DE VALORISATION ENVISAGEES DANS LE CADRE DU PROJET</b>	<b>49</b>
<b>5.1. ANALYSES DES FILIERES DANS LE CADRE DU PROJET</b>	<b>49</b>
5.1.1. UTILISATION POUR LES TERRE-PLEINS ET DE LA PLATE-FORME LOGISTIQUE DU FUTUR PORT	50
5.1.2. RECHARGEMENT EN SABLE DES PLAGES VOISINES	51
5.1.3. RECHARGEMENT AU FIL DE L'EAU	51
5.1.4. CLAPAGE EN MER AVEC REPRISSE ULTERIEURE POTENTIELLE	52
5.1.5. CLAPAGE EN MER A TITRE DEFINITIF	52
5.1.6. INSTALLATIONS DE STOCKAGE	52
5.1.7. FILIERES A TERRE	52
5.1.8. ALTERNATIVE EN MER : REHABILITATION DE CORDON DUNAIRE	53
<b>5.2. ZONAGE ET VOLUME SELON LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE</b>	<b>53</b>
<b>5.3. VOLUMES PAR FILIERE ENVISAGEE</b>	<b>57</b>
<b>6. REALISATION DES TRAVAUX DE DRAGAGE ET VALORISATION EN MER</b>	<b>60</b>
6.1. GENERALITES	60
6.2. DRAGAGE A L'AIDE D'UNE DAS (DRAGUE STATIONNAIRE)	60
6.3. DRAGAGE A LA PELLE MECANIQUE	64
6.4. DRAGAGE A LA DAM (DRAGUE ASPIRATRICE EN MARCHÉ)	64
6.5. REPARTITION DES ZONES A DRAGUER EN FONCTION DES MOYENS NAUTIQUES	68
<b>7. SYNTHÈSE</b>	<b>70</b>
<b>8. REFERENCES</b>	<b>72</b>
<b>9. ANNEXE</b>	<b>73</b>
<b>9.1. RESULTATS DETAILLES DES ANALYSES PAR GRANULOMETRIE LASER – CAMPAGNE GEOTECHNIQUE</b>	<b>73</b>

<b>9.2. RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES</b>	<b>76</b>
<b>9.3. RESULTATS DES TESTS DE LIXIVIATION</b>	<b>87</b>
<b>9.4. TECHNIQUE DE PRE-TRAITEMENT ET TRAITEMENT</b>	<b>91</b>
LE PRETRAITEMENT	91
LE TRAITEMENT	91

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

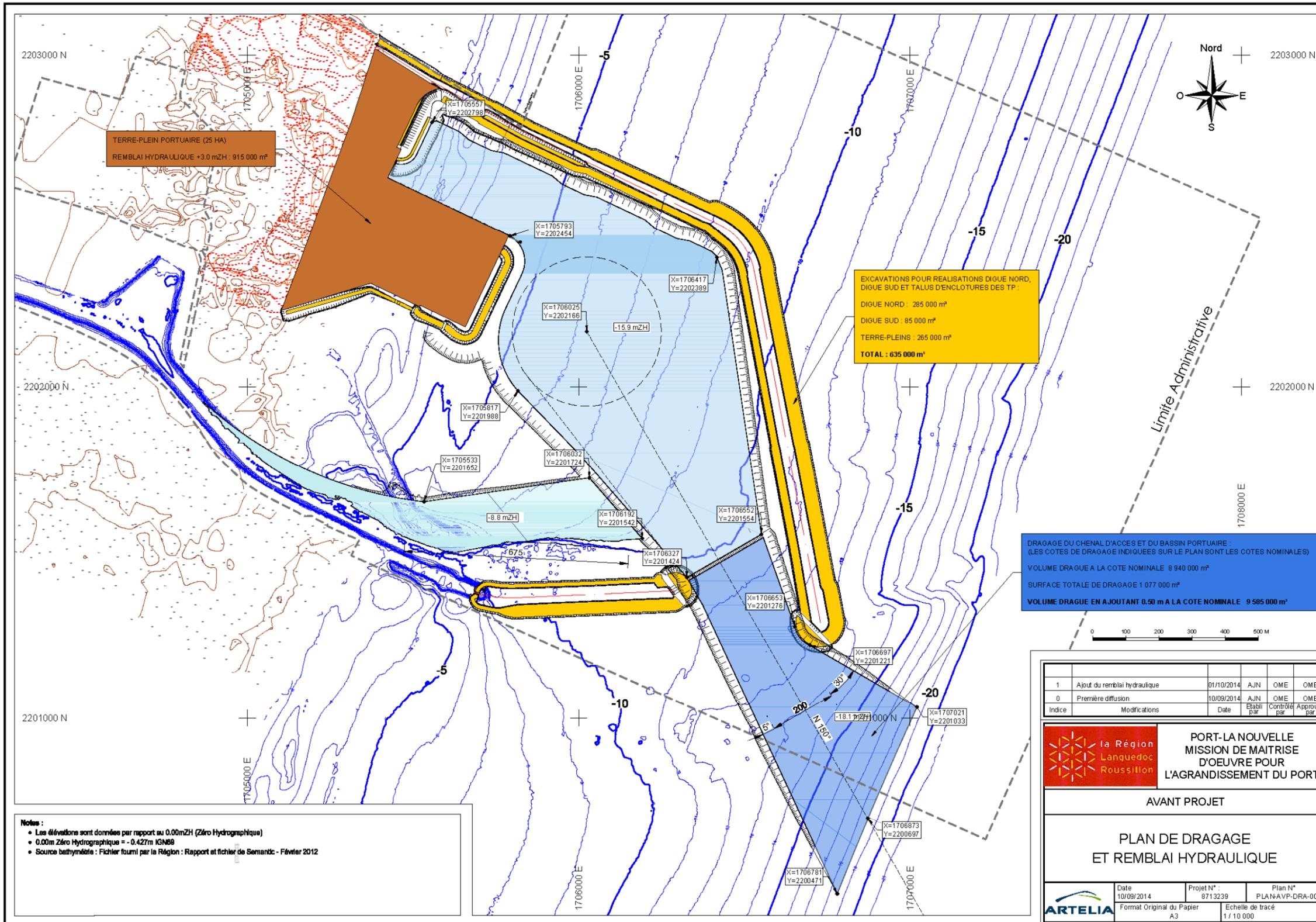
La Région Languedoc-Roussillon (le Maître d'Ouvrage – MOA) est devenue propriétaire des ports de Sète et de Port-La Nouvelle en janvier 2007, suite à la loi « Libertés et responsabilités locales » du 13 août 2004. Elle s'est engagée depuis, dans une politique volontariste de développement des trafics et de recherche de nouveaux opérateurs économiques permettant l'accroissement des activités portuaires des ports régionaux.

Le projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle dans lequel s'engage la Région consiste donc à répondre aux attentes des futurs opérateurs portuaires et à construire de nouvelles installations, à terre comme en mer, répondant aux standards actuels des ports modernes.

Cet agrandissement passe par la création d'un nouvel avant-port au Nord de la passe d'entrée actuelle, nécessaire au développement de l'activité portuaire de Port-La Nouvelle.

**Les opérations de dragage devraient conduire à l'enlèvement d'environ 10,2 millions de mètres cubes de sédiments pour la phase 1 du projet selon la profondeur de dragage retenue (côte nominale + 0,5 m). Les zones et volume de dragage de la phase 1 du projet sont présentés sur la Figure 1 ci-dessous.**

C'est dans ce contexte que le groupement Artélia/Creocéan/Gaxieu a été mandaté pour réaliser les études préliminaires à cet aménagement du territoire et les études environnementales touchant aux zones d'influence de l'agrandissement du port.



Date de tracé : arthur.JOUSSELLIN - 01/10/2014 Fichier Autocad : K:\BRC\MAR\8713239\_MOE\_PORT\_LA\_NOUVELLE\_OPU\_OMEVC - ETUDES\02-PLANS\01\_Plans\_AV\8713239\_AV\_P\_DRA\_001\_Rev1.dwg - 1 Vue en plan

Figure 1. Définition du plan de dragage (8713239\_AV\_P\_DRA\_001\_Rev1)

## 1.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

La présente étude a pour but d'étudier les différentes filières possibles de valorisation de ces millions de m<sup>3</sup> de sédiments issus du dragage associé à la phase 1 du projet.

Cette étude a pris en compte les aspects réglementaires liés aux sédiments de dragage et leur valorisation en tant que déchets, la qualité des sédiments qui seront dragués, les caractéristiques du site du projet ainsi que les besoins éventuels identifiés. Elle s'appuie également sur les résultats des différentes réunions avec le maître d'ouvrage et la DREAL du Languedoc-Roussillon.

## 1.3. PROGRAMME DE TRAVAIL

De manière à définir une stratégie de gestion efficace et pérenne des différents types de sédiments dragués (fraction grossière et fine, contaminée ou non), un phasage du travail à réaliser est considéré comme tel :

- ✚ Phase 1 : premières recherches sur les différents points clés de la problématique (réglementation, filières existantes, etc.). Ce rapport a déjà été réalisé et communiqué (**8713239-EP-DRA1-R001, 2013**) ;
- ✚ Phase 2 : Analyse de la qualité physico-chimique des sédiments sur l'emprise de la zone d'étude suite à la campagne géotechnique (**8713239-EP-DRA2-R002, 2014**) ;
- ✚ Phase 3 : Élaboration d'un plan de dragage par sectorisation en zone homogène du sédiment et identification des différentes voies de valorisation des sédiments en fonction de tous les paramètres à prendre en considération (**8713239-EP-DRA3-R002, 2014**)

## 2. POLITIQUE GENERALE DE GESTION DES SEDIMENTS EN FRANCE

A la suite des recherches scientifiques et techniques réalisées, un rapport de synthèse sur les différentes filières de valorisation a été précédemment rédigé et remis à la région Languedoc-Roussillon (phase 1 de l'étude sur les déblais de dragage, rapport **8713239-EP-DRA1-R001, 2013**).

Pour rappel, les activités qui donnent lieu à immersion de déblais de dragage sont des opérations réglementées au niveau international. En effet, la France a signé en 1976 la Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et son protocole d'application en 1996.

Il y a eu ensuite la signature de deux conventions régionales réglementant l'immersion des sédiments :

- En 1978, la Convention de Barcelone applique à l'ensemble de la Méditerranée que les déblais de dragage dérogent au principe d'interdiction d'immersion qui frappe toute une liste de déchets et autres matières ;
- En 1992, la Convention OSPAR fixe, au niveau international, les lignes directrices pour l'immersion en mer des sédiments de dragage. Cette convention fixe les critères de qualité des sédiments valables pour tous les pays signataires (dont la France). Ceux-ci ont donc été transposés dans le droit français (voir paragraphe suivant).

Les travaux de dragage sont soumis à deux phases en termes d'analyse des sédiments :

- La phase 1 concerne les propriétés physiques des sédiments, qui doivent permettre d'appréhender le comportement des sédiments durant les opérations de dragages et durant la chaîne traitement et/ou valorisation ;
- La phase 2 concerne les analyses chimiques des échantillons.

En France, la gestion des sédiments marins s'appuie sur l'Arrêté du 14 juin 2000 ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/5479](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5479)) révisé et complété en août 2006, décembre 2009, février 2013 et Juillet 2014 ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/4901](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/4901)) relatif aux niveaux de référence à prendre en compte (communément appelés «seuils GEODE») lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Ces seuils (i.e. N1 et N2) ont été définis par le groupe de travail «GEODE» à partir des concentrations médianes mesurées sur des sédiments prélevés sur l'ensemble du littoral français et plus récemment sur des critères de qualité écotoxicologique pour certains polluants (HAP et PCB) :

- Au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel sur l'environnement est jugé neutre ou négligeable, les valeurs observées se révélant comparables aux bruits de fond environnementaux ;
- Entre les niveaux N1 et N2, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1 ;
- Au-delà du niveau N2, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices laissent présager un impact négatif sur l'environnement. Les opérations d'immersion sont donc susceptibles d'être interdites sous réserve que cette interdiction soit la solution de gestion la moins dommageable pour l'environnement.

Si l'immersion en mer est interdite, alors les sédiments doivent être entreposés ou valorisés à terre. Ils prennent ainsi le statut de déchets et leur gestion doit être maîtrisée.

La circulaire du 4 juillet 2008 ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/7177](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/7177)) précise les différentes procédures concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux.

Le schéma ci-dessous récapitule le contexte français concernant la valorisation des sédiments issus d'opération de dragage (source DREAL NPDC 2011).

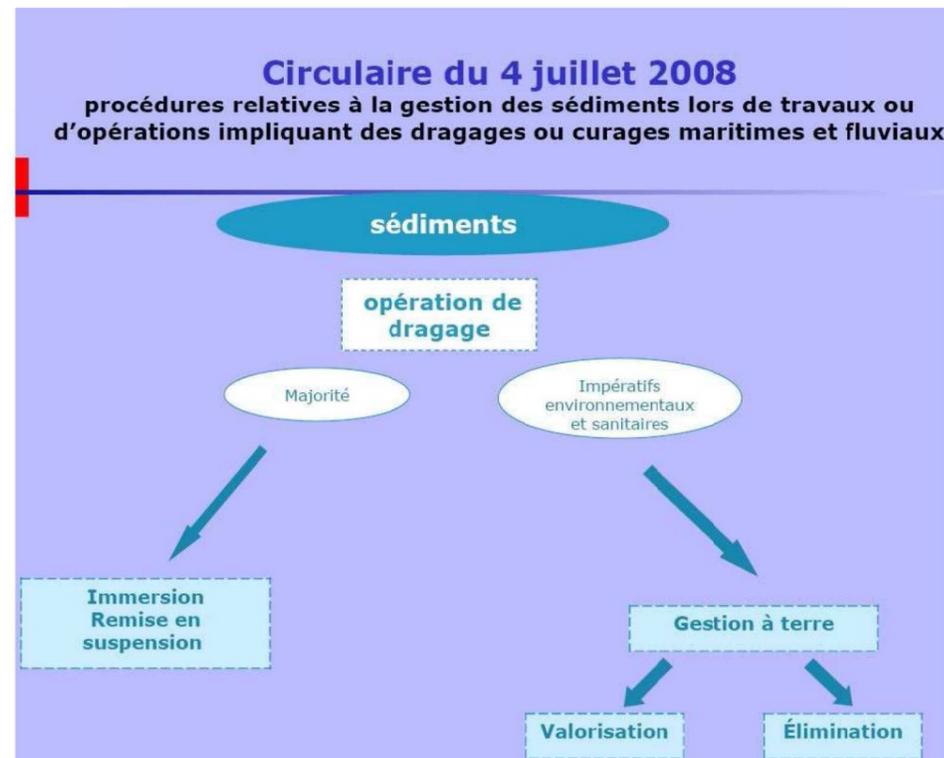


Figure 2 : Gestion des sédiments de dragage (DREAL NPDC 2011)

Le schéma présenté ci-dessous en Figure 3, détaille l'ensemble des filières existantes de gestion/valorisation des sédiments identifiés dans la synthèse bibliographique réalisée en 2013 (8713239-EP-DRA1-R001, 2013).

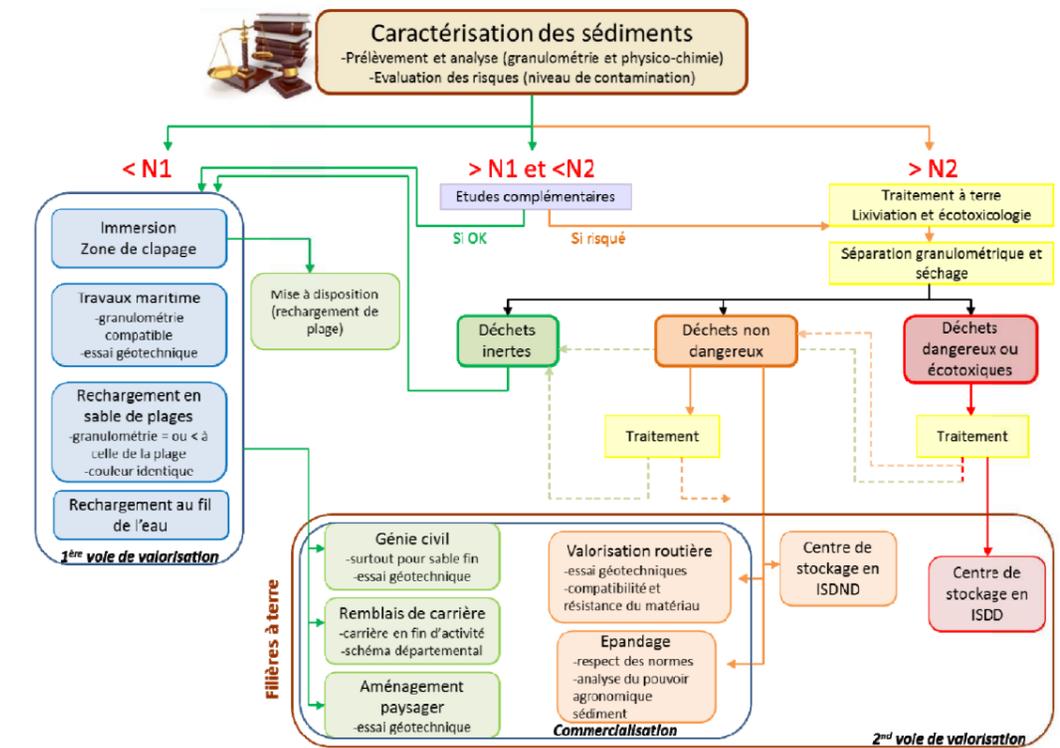


Figure 3. Synthèse des filières existantes de valorisation des sédiments de dragage

Comme indiqué supra, si un ou plusieurs contaminants dépassent les seuils réglementaires (N1 et/ou N2), des études approfondies (tests écotoxicologiques) sont obligatoires. Des traitements peuvent également être envisagés pour permettre aux sédiments d'être tout de même valorisés.

La possibilité de valoriser les sédiments dans le domaine terrestre ne peut être envisagée qu'en cas d'impossibilité d'engager les filières en mer ou en cas d'excédent sédimentaire.

La commercialisation des sédiments concerne essentiellement les filières du BTP.

### 3. QUALITE DES SEDIMENTS DANS LA ZONE DU PROJET

La qualité des sédiments dragués conditionne leur devenir. C'est-à-dire qu'en fonction de leur niveau de contamination, de leur granulométrie ils peuvent être réutilisés en mer et/ou à terre. La présente section rappelle les résultats obtenus sur la qualité des sédiments présents dans la zone qui sera draguée dans le cadre du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle (rapport d'étude 8713239-EP-DRA2-R002, 2014).

#### 3.1. REFERENTIELS UTILISES

Ce rapport intègre les résultats des analyses effectuées sur le sédiment (analyse type « dragages » et analyse type « déchets ») pour caractériser sa qualité en termes de granulométrie et de contamination :

- **Granulométrie** en se basant sur deux classifications distinctes pour les sédiments :

Type sédimentologique d'après Chasse et Glemarec (1976) modifié (

Tableau 1) ;

Type envasement d'après Ibouly (1981) – (

Tableau 2)

Fraction fine		Fraction sableuse			
Argiles	Limons (vases/silts)	Sable très fin	Sable très fin	Sable moyen	Sable grossier
<2 µm	2<x<63 µm	63<x<125µm	63<x<125µm	250<x<500µm	500<x<2000µm

Tableau 1. Classes granulométriques selon classification adaptée de Chasse & Glemarec 1976

Classe	Typologie
< 10 %	Sables purs
10 – 20 %	Sables peu envasés
20 – 40 %	Sables moyennement envasés
40 – 60 %	Sédiment très envasé à dominance de sables
60 – 80 %	Sédiment très envasé à dominance de vase
> 80 %	Vases pures

Tableau 2. Classification d'Ibouly, 1981 – en % de fraction fine > 63 µm

- **Enrichissement organique** en se basant sur un indice de pollution organique synthétique. Bien que non défini dans les textes réglementaires, l'enrichissement organique du sédiment est également souvent analysé. Un indice synthétique de pollution organique peut être calculé à partir de teneurs en carbone organique total, azote et phosphore (Alzieu 2003). Afin de synthétiser qualitativement et graphiquement les données, 4 classes de valeur avec un code couleur ont été définies par Créocéan pour l'indice de pollution organique selon le tableau suivant :

0	nulle
0 < X ≤ 3	faible
3 < X ≤ 6	moyen
X > 6	fort

Tableau 3. Classes de valeur et code couleur utilisés pour l'indice de pollution organique

- **Contamination chimique**
- ✓ **en se basant sur les résultats des analyses « type dragages »** : Ce sont des analyses réalisées de manière courante sur les sédiments portuaires et qui permettent de caractériser les sédiments en référence aux textes réglementaires en vigueur<sup>1</sup> dans le cadre des projets de dragage et d'élimination des déblais en mer (par refoulement ou immersion). Comme indiqué supra, la législation française (arrêté du 9 août 2006 complété par les arrêtés du 23 décembre 2009, du 08 février 2013 et du 17 juillet 2014, [http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/4901](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/4901)) fixe en effet un référentiel de qualité pour les sédiments marins ou estuariens au regard de leur contamination. Deux niveaux de contamination sont distingués N1 et N2.

<sup>1</sup> Arrêté interministériel du 14 juin 2000 fixant les niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire ; Arrêté du 9 Août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou de canaux (remplace et modifie celui du 14 Juin 2000) complété par l'arrêté du 23 Décembre 2009, du 08 Février 2013 et du 17 Juillet 2014

	Élément	N1	N2
<b>Métaux</b> mg/kg sédiment sec	Arsenic	25	50
	Cadmium	1,2	2,4
	Chrome	90	180
	Cuivre	45	90
	Mercuré	0,4	0,8
	Nickel	37	74
	Plomb	100	200
<b>PCB</b> µg/kg sédiment sec	Zinc	276	552
	PCB totaux	500	1000
	PCB 28	5	10
	PCB 52	5	10
	PCB 101	10	20
	PCB 118	10	20
	PCB 138	20	40
<b>TBT</b> µg/kg sédiment sec	PCB 153	20	40
	PCB 180	10	20
<b>HAP</b> µg/kg sédiment sec	TBT	100	400
	Naphtalène	160	1130
	Acénaphène	15	260
	Acénaphylène	40	340
	Fluorène	20	280
	Anthracène	85	590
	Phénanthrène	240	870
	Fluoranthène	600	2850
	Pyrène	500	1500
	Benzo(a)anthracène	260	930
	Chrysène	380	1590
	Benzo(b)fluoranthène	400	900
	Benzo(k)fluoranthène	200	400
	Benzo(a)pyrène	430	1015
	Di Benzo (ah)anthracène	60	160
	Benzo(ghi) pérylène	1700	5650
	Indeno(123cd) pyrène	1700	5650
<b>Niveaux de référence N1 et N2</b> Concentration < N1 : « sédiment non toxique » Concentration > N1 et < N2 : « sédiment nécessitant des investigations écotoxicologiques » Concentration > N2 : « sédiment toxique »			

**Tableau 4 : Niveaux de références N1 et N2 pour la contamination des sédiments**

Les données obtenues sur la zone du projet sont qualifiées par rapport aux niveaux de référence N1 et N2 ainsi :

- donnée inférieure ou égale au premier niveau : cellule verte (bonne qualité) ;

- donnée supérieure stricte au niveau N1 et inférieure ou égale au niveau N2 : cellule jaune (qualité moyenne) ;

- donnée supérieure stricte au niveau N2 : cellule rouge (qualité dégradée).

- ✓ **En se basant sur des analyses de type déchets** (valorisation des sédiments à terre) : lorsque les sédiments dragués sont valorisés à terre, ils entrent dans la classification des déchets. Le déchet doit ensuite être testé pour caractériser sa nature (inerte ou non inerte) et sa dangerosité (dangereux ou non dangereux).

**Caractérisation de la nature du déchet (inerte/non inerte) : Les tests de lixiviation** sont effectués dans le cadre de la réutilisation à terre des sédiments dragués, pour la définition des sédiments en tant que déchet inerte ou non-inerte selon les seuils définis par l'arrêté du 28/10/2010 relatif aux installations de stockage des déchets inertes ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/3965](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/3965));

**Caractérisation de la dangerosité des déchets :** Un sédiment peut être caractérisé comme déchet inerte, déchet non inerte dangereux et déchet non inerte non dangereux. Le critère de dangerosité ou non des sédiments ne concernent que les sédiments considérés comme déchets, c'est-à-dire uniquement les déchets de dragage non immergés, rechargement de plage et remblais dans le cadre du projet. Les sédiments extraits de leur milieu d'origine sont des déchets régis par le Code de l'Environnement, et sont concernés par deux nomenclatures ;

17 05 05 « Boues de dragage contenant des substances dangereuses » ;

17 05 06 « Boues de dragage autres que celles qui sont visées à la rubrique 17 05 05 »

L'article R.548-8 du code de l'environnement relatif à la classification des déchets définit le potentiel de dangerosité d'un sédiment. L'annexe I spécifie qu'un déchet est dangereux s'il possède au moins une des 15 propriétés de danger (H1 à H15). Dans le cas des sédiments, le critère H14 relatif à l'écotoxicité du sédiment /du déchet est généralement utilisé et déterminant pour savoir si un déchet est dangereux ou non. L'évaluation du danger intrinsèque d'un déchet via le critère H14 consiste à vérifier sa toxicité vis-à-vis des organismes vivants à l'aide de bio-essais normalisés dans des conditions expérimentales définies. Il est à noter que le protocole « H14 sédiments MEEDDM 2009 » est en cours d'évaluation et de développement notamment pour les sédiments marins. Ceci n'exclut pas de fait l'examen des autres critères de dangers.

Des valeurs seuils concernant la dangerosité des sédiments sont également définis dans le cadre de la Décision Communautaire n°2003/33/CE du 19/12/2002 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges en fonction de la teneur en contaminants et de divers autres paramètres. Ces tests comprennent des mesures de contamination sur lixiviat.

A défaut de connaître l'écotoxicité des sédiments sur la base du critère H14, en première approche pour cette étude, les paramètres analysés sont comparés de manière indicative aux valeurs seuils définies dans le cadre de la Décision Communautaire n°2003/33/CE du 19/12/2002 ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/1595](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/1595)). Ces valeurs utilisées à titre indicatif, permettent d'avoir une première idée sur la dangerosité des sédiments qui seront dragués

Paramètres		Déchets inertes	Décharge déchets non dangereux	Décharge déchets dangereux
		arrêté 28/10/2010 et DC 2003/33/CE	DC 2003/33/CE	DC 2003/33/CE
		valeur limite	critères d'admission	critères d'admission
<b>Paramètres physico-chimiques</b>				
fraction soluble sur lixiviat	en mg/kg MS	4000	60000	100000
carbone organique total sur brut	en g/kg MS	30	50	100
carbone organique total sur lixiviat	en mg/kg MS	500	800	1000
indice phénol sur lixiviat	en mg/kg MS	1	3	1000
fluorures lixiviables	en mg/kg MS	10	150	500
chlorures lixiviables	en mg/kg MS	800	15000	25000
sulfates lixiviables	en mg/kg MS	1000	20000	50000
<b>Métaux</b>				
Antimoine lixiviable	en mg/kg MS	0,06	0,7	5
Arsenic lixiviable	en mg/kg MS	0,5	2	25
Baryum lixiviable	en mg/kg MS	20	100	300
Cadmium lixiviable	en mg/kg MS	0,04	1	5
Chrome lixiviable	en mg/kg MS	0,5	10	70
Cuivre lixiviable	en mg/kg MS	2	50	100
Molybdène lixiviable	en mg/kg MS	0,5	10	30
Nickel lixiviable	en mg/kg MS	0,4	10	40
Plomb lixiviable	en mg/kg MS	0,5	10	50
Sélénium lixiviable	en mg/kg MS	0,1	0,5	7
Zinc lixiviable	en mg/kg MS	4	50	200
Mercure lixiviable	en mg/kg MS	0,01	0,2	2
<b>COV : composés organiques volatils BTEX</b>				
Benzène	en mg/kg MS	6	\	\
Toluène	en mg/kg MS	6	\	\
Ethylbenzène	en mg/kg MS	6	\	\
Xylène ortho	en mg/kg MS	6	\	\
Xylènes (m+p)	en mg/kg MS	6	\	\
<b>Hydrocarbures</b>				
HAP Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	en mg/kg MS	50	\	\
Indice hydrocarbures C10-C40	en mg/kg MS	500	\	\
<b>PCB (Polychlorobiphényles)</b>				
PCB 7 congénères	en µg/kg MS	1000	\	\

Tableau 5. Seuils réglementaires d'admissibilité en Installation de Stockage (ISD)

## 3.2. DONNEES ANTERIEURES

### 3.2.1. Rappel des résultats

#### ✚ Granulométrie

Il a été réalisé dans un premier temps une analyse des données physico-chimiques existantes sur la zone de projet en dehors des prélèvements réalisés dans le cadre de la mission géotechnique-environnement de 2013-2014 (Ginger, CMO2.B.228-2, 2014).

La connaissance de ces données est essentielle pour qualifier les sédiments à l'admission pour certaines filières de valorisation.

Pour la granulométrie, les résultats (état initial et analyses supplémentaires de 2013) sont présentés conjointement sur la Figure 4. Celle-ci intègre à la fois des données acquises directement sur la zone de projet mais également sur les zones avoisinantes afin d'avoir une appréciation de la granulométrie au Nord et au Sud du site pour comparaison avec les sédiments dragués. Les résultats détaillés de ces anciennes campagnes sont présentés dans le rapport sur l'état initial du site (**8713239-AVP-DRA-R2 Version 1**).

Pour rappel : à l'exception du chenal portuaire, la zone du projet présente globalement une granulométrie à dominante sableuse. En dehors de la zone de projet, la granulométrie est classée selon un gradient lié à la profondeur. Les stations jusqu'à 20 m de profondeur d'eau sont des sables fins à moyens. La granulométrie s'affine à mesure que la profondeur augmente. Ce gradient granulométrique est lié à un hydrodynamisme qui s'atténue avec la profondeur permettant le dépôt de la fraction fine. On notera une différence granulométrique entre les plages Nord et sud autour de Port-La Nouvelle :

- Le Sud est caractérisé par des sables moyens, voir grossiers,
- Le Nord par des sables fins.

La Figure 5 présente les teneurs en fraction fine pour la zone d'étude élargie de l'état initial. De manière générale, le sédiment peut être considéré comme du sable pur jusqu'à une profondeur de l'ordre de 20 m, fraction fine inférieure à 10 % (classification d'Ibouily, 1981) en dehors de la zone du chenal actuel où le sédiment est envasé à très envasé. La teneur en fraction fine croît vers le large est atteint des valeurs supérieures à 60 % vers 30 m de fond (sédiment envasé).

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

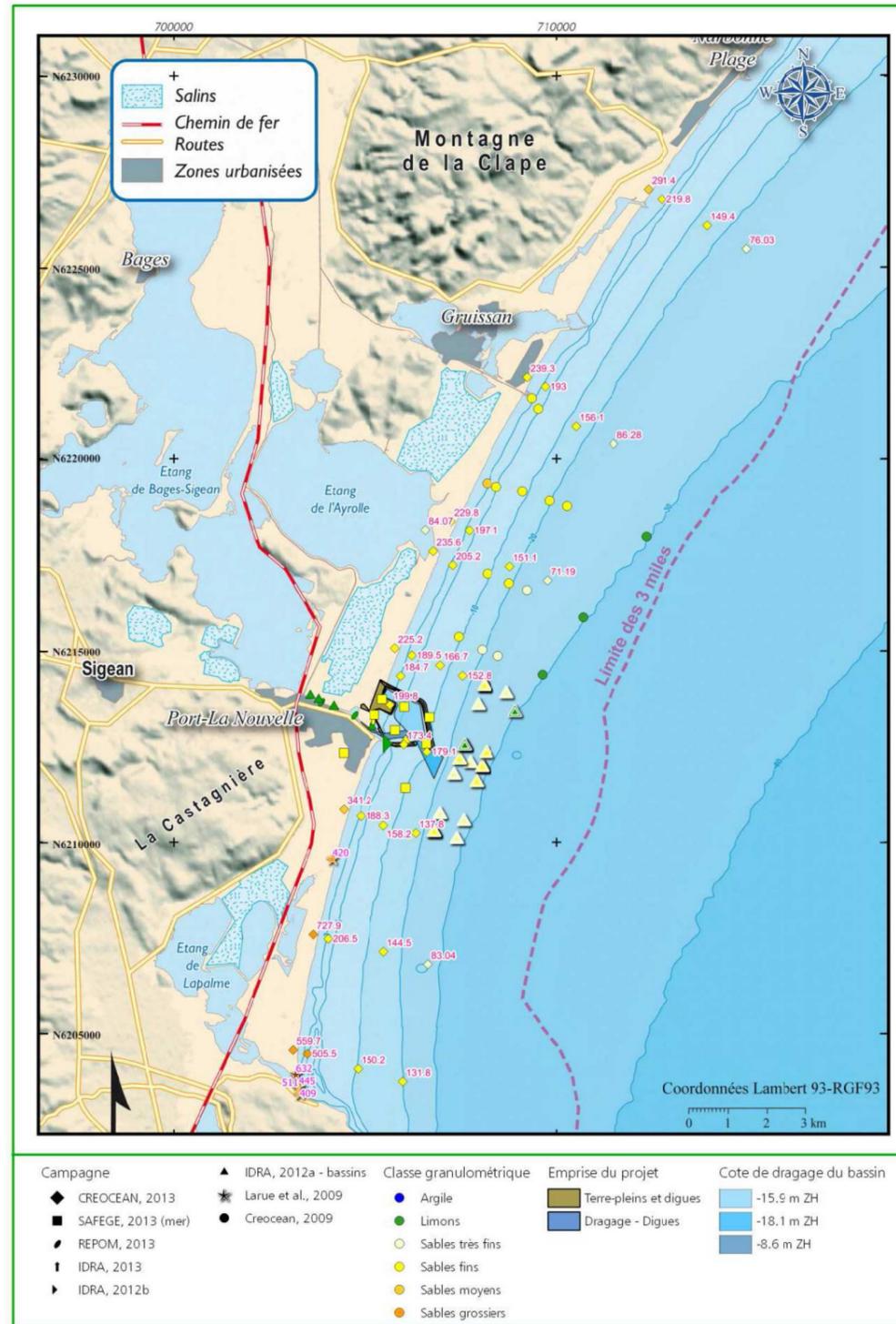


Figure 4 : Classe granulométrique sur la zone élargie – hors campagne géotechnique

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

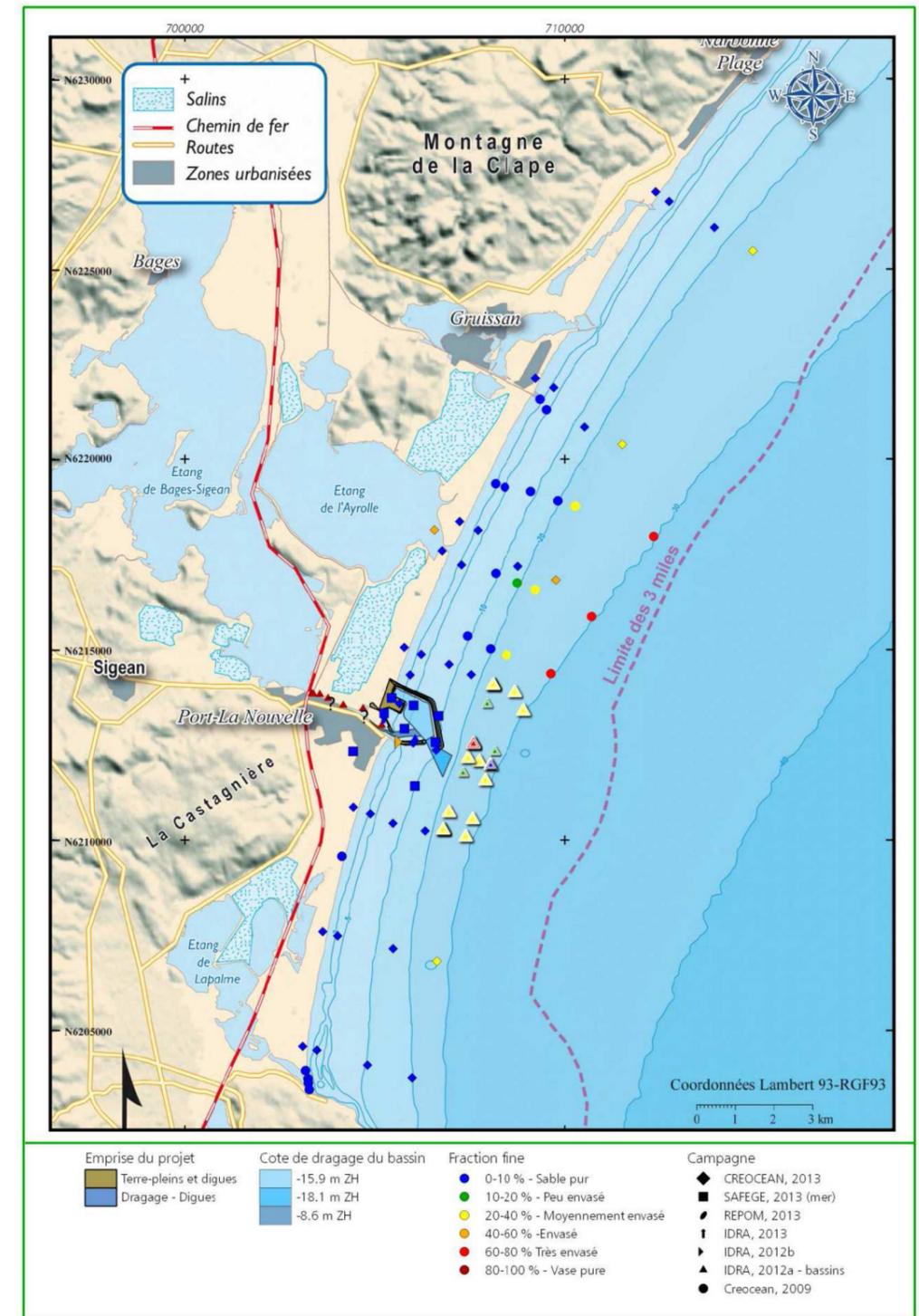


Figure 5. Teneur en fraction fine pour la zone d'étude élargie – hors campagne géotechnique

 Contamination chimique

Concernant l'analyse de la contamination, seuls les résultats de la zone de projet sont repris dans ce rapport au regard des besoins de l'étude.

La Figure 6 présente une synthèse des précédentes études sur la contamination sur le site de Port-La Nouvelle. Cette synthèse met en évidence des sédiments « Bons » (aucun contaminant dépassant N1 : points verts) à « Moyens » (1 ou plusieurs contaminants compris entre N1 et N2 : points jaunes). On notera la présence d'un point présentant un sédiment de qualité dégradée « Mauvais » au niveau de l'extrémité de la digue sud actuelle, avec dépassement du seuil N2.

On observe dans le chenal portuaire, des valeurs de Cuivre et de Nickel dépassant la valeur N1. De plus, plusieurs stations présentent une contamination par certains Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

On notera en particulier les résultats de l'étude d'IDRA (2012) qui fait état d'une contamination aux HAP au niveau du musoir de la digue Sud (Tableau 6). Cette étude est la seule présentant des prélèvements situés sur une zone de dragage.

		IDRA 2012b (digue sud)								Niveaux de référence				
		Stations	Ep1.1	Ep1.2	Ep1.3	Ep1.4	Ep1.5	Ep1.7	Ep1.1 0	Ep1.1 1	Ep1.1 4	arrêté du 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014		
		Unités	Février 2011				Août 2011				REPOM (2009)			
		Echantillon moyen										Valeurs ≤ N1		
Caractéristiques physiques	Matières sèches	%	42,2										N1 < Valeurs ≤ N2	
	C Org	g/kg	3,32										Valeurs > N2	
	masse volumique	g/cm3	1,58											
	D50	µm	25,49											
Nutriments	Aluminium	g/kg	5,64											
	Azote Kjeldahl	(% p sec)	<0,05											
	Phosphore total	mg/kg sec	659											
Métaux	Indice pollution organique		1										N1	N2
	Arsenic	mg/kg sec	19,8										25	50
	Cadmium	mg/kg sec	<0,40										1,2	2,4
	Chrome	mg/kg sec	<18,5										90	180
	Cuivre	mg/kg sec	13,1										45	90
	Mercure	mg/kg sec	<0,10										0,4	0,8
	Nickel	mg/kg sec	13,4										37	74
	Plomb	mg/kg sec	12,4										100	200
PCB	Zinc	mg/kg sec	45,5										276	552
	Somme des PCB	µg/kg sec	<70											
	CB28	µg/kg sec	<10										5	10
	CB52	µg/kg sec	<10										5	10
	CB101	µg/kg sec	<10										10	20
	CB118	µg/kg sec	<10										10	20
	CB138	µg/kg sec	<10										20	40
	CB153	µg/kg sec	<10										20	40
Organo-stanniques	CB180	µg/kg sec	<10										10	20
	TBT	µg/kg sec	<2,1										100	400
	DBT	µg/kg sec	<1,2											
Granulométrie	MBT	µg/kg sec	<1											
	63µm-2mm	% fact.<2mm	42,2											
	2µm-63µm	% fact.<2mm	46,7											
HAP	<2µm	% fact.<2mm	11,1											
	Echantillons individuels													
	Naphtalène	µg/kg sec	<50	4200	<50	<190	50	<100	<220	<160	<50	160	1130	
	Acénaphthylène	µg/kg sec	<50	100	<50	<190	80	<100	<220	<160	<50	40	340	
	Acénaphthène	µg/kg sec	<50	4700	<50	<190	100	<100	<220	<160	<50	15	260	
	Fluorène	µg/kg sec	<50	4600	<50	<190	130	<100	<220	<160	<50	20	280	
	Phénanthrène	µg/kg sec	330	47000	<50	410	840	290	380	<160	70	240	870	
	Anthracène	µg/kg sec	110	14000	<50	<190	280	<100	<220	<160	<50	85	590	
	Fluoranthène	µg/kg sec	530	48000	<50	480	1100	480	620	<160	110	600	2850	
	Pyréne	µg/kg sec	460	40000	<50	500	1100	440	500	<160	110	500	1500	
	Benzo(a)anthracène	µg/kg sec	240	15000	<50	220	320	360	<220	<160	<50	260	930	
	Chrysène	µg/kg sec	270	15000	<50	230	330	250	<220	<160	50	380	1590	
	Benzo(b)fluoranthène	µg/kg sec	330	18000	<50	250	510	350	310	<160	70	400	900	
	Benzo(k)fluoranthène	µg/kg sec	80	8600	<50	<190	190	120	<220	<160	<50	200	400	
	Benzo(a)pyréne	µg/kg sec	230	16000	<50	190	440	280	230	<160	<50	430	1015	
	Dibenzo(ah)anthracène	µg/kg sec	50	2000	<50	<190	60	<100	<220	<160	<50	60	160	
	Benzo(ghi)peryène	µg/kg sec	140	9200	<50	<190	230	<100	<220	<160	<50	1700	5650	
	Indeno(1,2,3-c,d)pyréne	µg/kg sec	170	8800	<50	<190	230	<100	<220	<160	<50	1700	5650	
	somme des HAP	µg/kg sec	2,89<x<3,1	255,2	<0,8	2,28<x<3,99	5,99	2,57<x<3,37	2,04<x<4,46	<2,56	0,41<x<0,96			

Tableau 6. Résultats des analyses effectuées dans le cadre de l'étude sur la digue sud (IDRA2012b)

Concernant l'eutrophisation, le chenal aval actuel présente une eutrophisation essentiellement qualifiée de « moyenne ». Celle-ci diminue vers la zone du futur bassin. Elle est considérée comme faible au niveau du musoir de la digue sud actuelle et comme nulle pour la majorité de la zone du futur bassin (Figure 7).

L'ensemble de ces études présente des résultats de contamination uniquement sur la partie très superficielle de la colonne sédimentaire. En effet, les prélèvements par benne ne permettent d'analyser que les premiers 50 cm de sédiments.

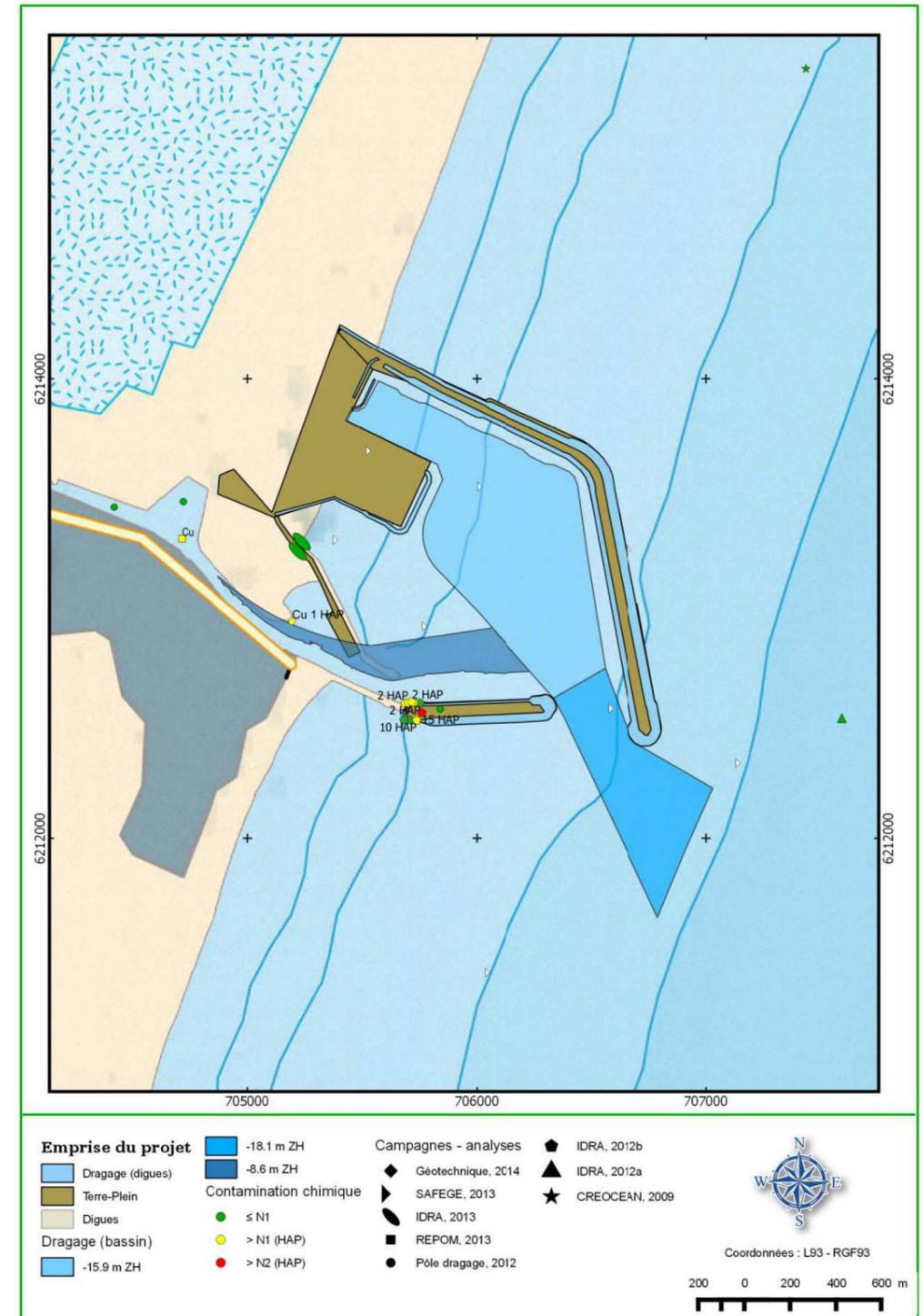


Figure 6. Evaluation de la contamination des sédiments dans la zone du futur bassin et du chenal actuel – hors campagne géotechnique

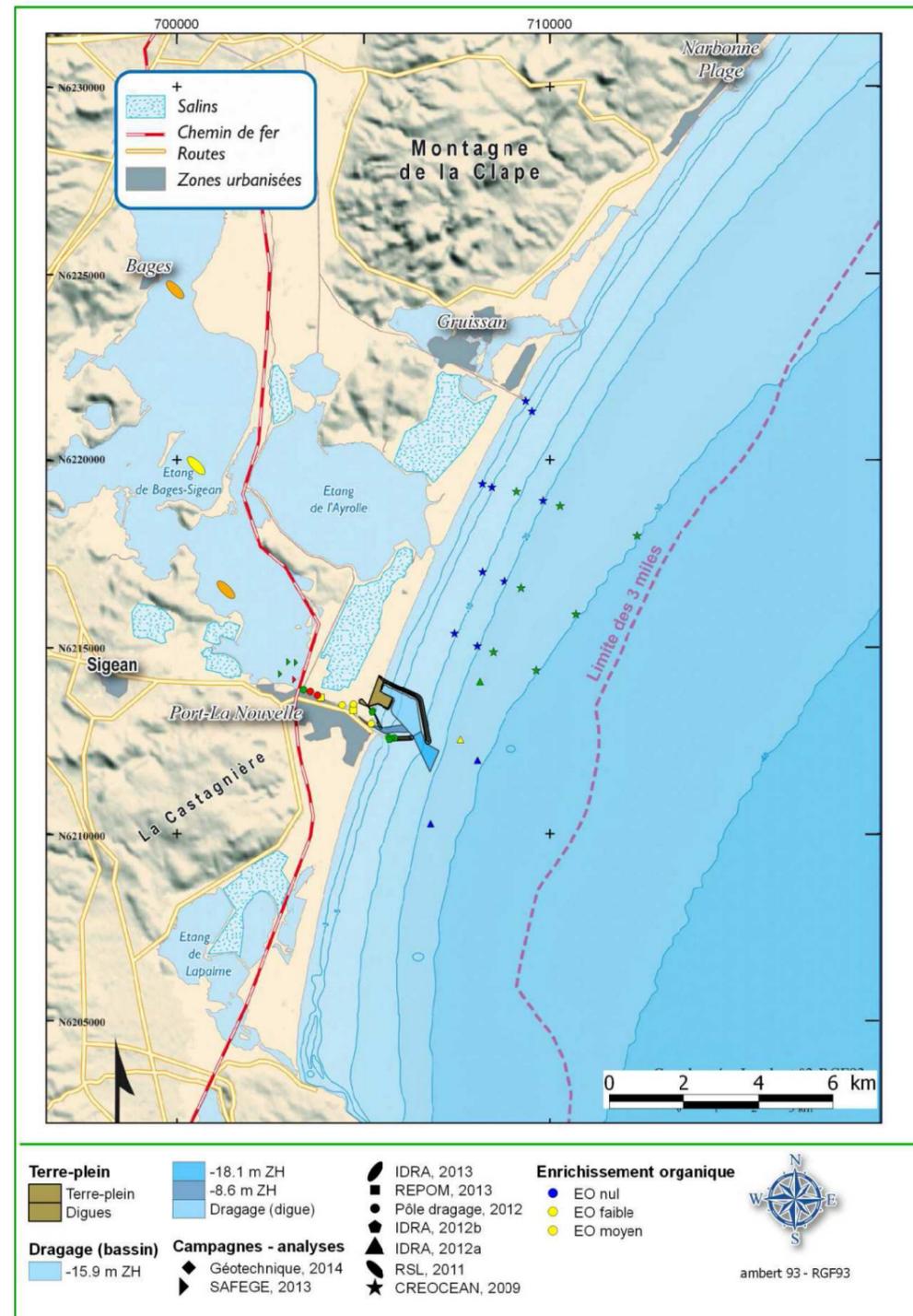


Figure 7. Evaluation de l'eutrophisation des sédiments – hors campagne géotechnique

### 3.2.2. Synthèse

#### Granulométrie

D'après les études antérieures la granulométrie apparaît comme essentiellement sableuse jusqu'à des fonds de l'ordre de 20 m à l'exception de la zone du bassin et chenal aval du port actuel où la fraction fine est relativement importante à très importante. Cette granulométrie décroît ensuite vers le large où les sédiments sont qualifiés de sables très fins plus ou moins envasés à des sédiments de type limon. La granulométrie des plages avoisinantes présente des sables fins au Nord avec une valeur du D50 supérieure à 230 µm et des sables moyens au Sud.

#### Contamination chimique

De manière générale, la contamination chimique est relativement faible à l'échelle de la zone de projet et localisée essentiellement au niveau du bassin d'amortissement et du chenal aval actuel. Les dépassements des seuils réglementaires concernent essentiellement le cuivre et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Seule l'étude d'IDRA (2012) présente des points de prélèvements sur la zone de projet, 1 point dépasse le seuil N2 (IDRA, 2012). Il est situé au niveau du musoir de la digue Sud.

#### Eutrophisation

L'eutrophisation touche essentiellement le chenal portuaire et décroît vers le chenal aval. On notera que le niveau d'eutrophisation est faible au niveau de la zone de dragage de la future digue Sud et proche de celui observée au large pour les sédiments envasés.

### 3.3. CAMPAGNE 2014 – GEOTECHNIQUE

Un rapport de synthèse sur la qualité des sédiments de la campagne géotechnique de 2014 a été réalisé en Octobre 2014 dans le cadre de l'AVP du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle. Il présente les résultats détaillés et interprétés des analyses physico-chimiques. Nous ne reprendrons ici qu'une synthèse de ce rapport afin d'évaluer les disponibles sédimentaires pour chaque filière de valorisation retenue.

11 sondages carottés numérotés SC27 à SC37 ont été réalisés à but de prélèvement environnemental en vue de l'analyse des propriétés physico-chimiques des déblais de dragage. A l'exception du sondage carotté numéro SC36 localisé à l'intérieur du port actuel (avant-port), l'ensemble des sondages carottés a été effectué en secteur marin à l'extérieur du port actuel dans la zone prévue pour le futur bassin portuaire.

Les 11 carottes ont ensuite été découpées dans le sens de la hauteur (sans déstructuration de carotte) pour permettre de prélever les échantillons de sédiments sur l'ensemble de la colonne sédimentaire en fonction de la profondeur prévue pour le futur dragage. Les prélèvements ont été faits avec une cuillère en PET neuve afin de ne pas contaminer l'échantillon. Au total 94 échantillons ont été prélevés.

En complément des sondages carottés, 26 prélèvements à la benne ont également été effectués dans la future zone à draguer. Les prélèvements 1 et 2 sont localisés dans le port actuel et les autres prélèvements 3 à 26 sont situés à l'extérieur du port actuel dans la zone prévue pour le futur bassin portuaire.

La localisation des points de prélèvements, bennes et carottes, est visible sur la Figure 8.

### 3.3.1. Granulométrie

#### 3.3.1.1. Sédiment superficiel

L'analyse de la sédimentation superficielle est évaluée au regard de la granulométrie des sédiments prélevés par benne et l'échantillon superficiel des sondages carottés.

Du point de vue de la teneur en fraction fine, l'ensemble des résultats indique une teneur généralement faible, entre 0 et 5% pour les prélèvements de type benne et entre 10 et 30 % pour les sondages carottés. Les différences peuvent être liées à un lessivage de la fraction fine au cours du prélèvement.

Les points à teneur très élevés en fraction fine, sédiment de type envasé, correspondent uniquement aux points situés dans le chenal aval 1, 2 et SC36.

La valeur du D50 de l'ensemble des échantillons disponibles (présentée en annexe 9.1) est comprise entre 122 et 210 µm (sable très fin à fin). Seul un échantillon (SC31) est considéré comme un sable très fin, les autres valeurs étant toutes supérieures à 125 µm.

Un classement par type de sédiments est proposé en se basant sur les deux classifications présentées au chapitre 3.1. Les tableaux ci-dessous reprennent les principaux résultats pour chaque benne. La tranche superficielle des sondages carottés est présentée Figure 9 du chapitre 3.3.1.2.

La Figure 8 synthétise l'analyse des résultats obtenus par granulométrie laser, fraction inférieure à 2mm, de l'ensemble des échantillons superficiels de la campagne géotechnique de 2014 au regard de la valeur du D50 uniquement.

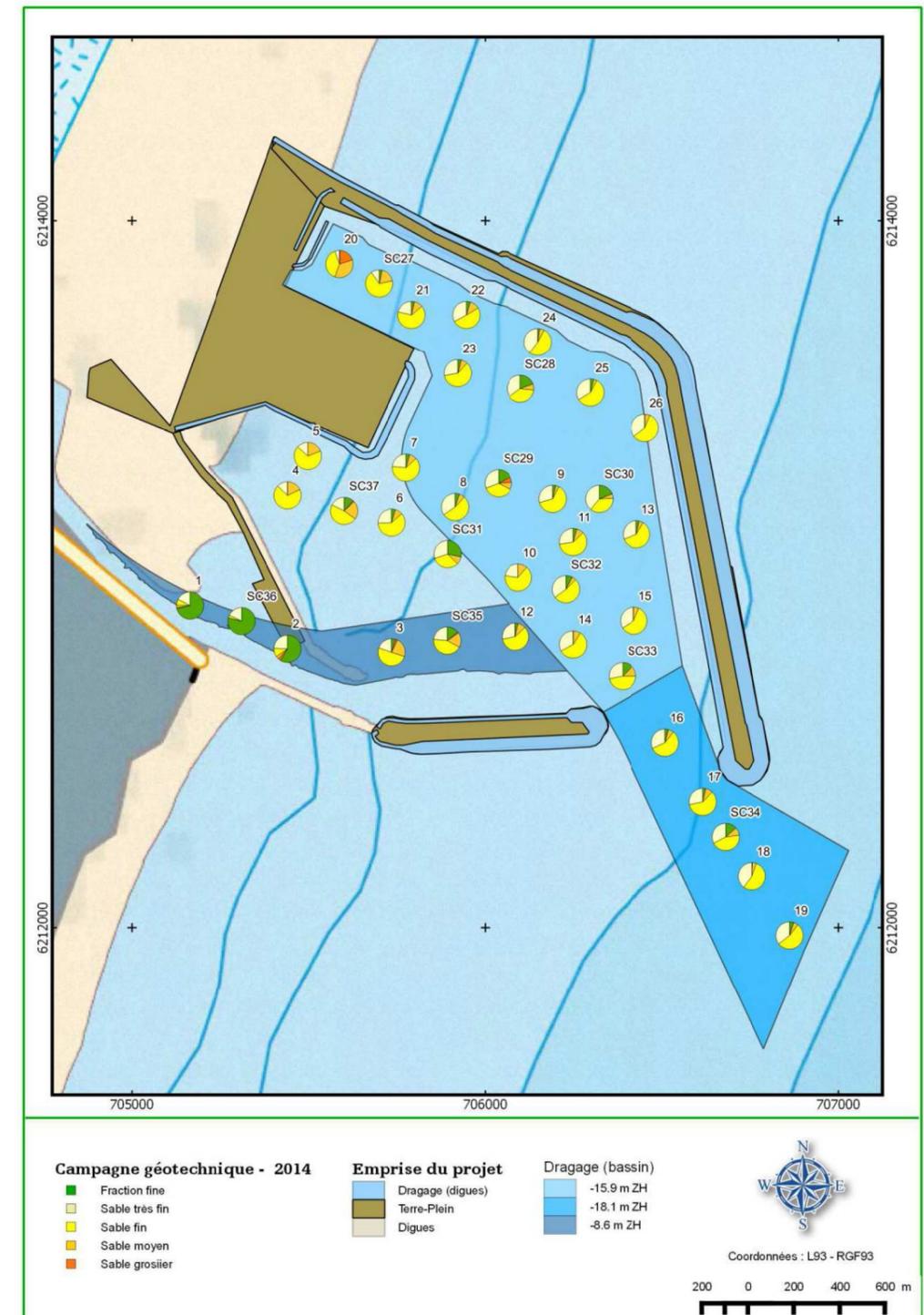


Figure 8. Distribution granulométrique des échantillons superficiels par classe – campagne géotechnique 2014

**3.3.1.2. Colonne sédimentaire**

L'annexe 9.1 présente les résultats détaillés des analyses par granulométrie laser sur la fraction inférieure à 2 mm des sondages carottés<sup>2</sup>. Ces analyses montrent que malgré une valeur du D50 relativement homogène, les sédiments sont relativement hétérogènes en fonction de la profondeur. La principale variation concerne le pourcentage de fraction fine compris entre 0 et plus de 85 %

On notera également que malgré une valeur médiane assimilée à des sables fins pour la majorité des échantillons, la fraction associée aux sables très fins est non négligeable, souvent supérieure 30 %.

Les valeurs extrêmes et moyennes soulignent l'importance de la fraction associée aux sables très fins pour l'ensemble du site. Nous obtenons une moyenne autour de 30 % de cette classe granulométrique contre 46% pour les sables fins. En revanche, les sables moyens à grossiers peuvent être considérés comme négligeables pour la zone à draguer.

Les variations observées au sein des sondages carottés peuvent avoir plusieurs origines :

- Anthropique, au niveau des zones de dragage actuelles. Les travaux peuvent perturber l'organisation des sédiments par remise en suspension et dépôt de particules fines ;
- Naturelle. Les événements de tempêtes historiques/géologiques, la profondeur de certaines carottes entraînent la caractérisation de dépôt d'une grande partie de la période dite de haut niveau marin, soit environ 6000 ans, entraînent une stratification des dépôts au sein de la colonne sédimentaire avec une laternance de dépôts plus ou moins fins.

La **Figure 9** ci-dessous présente les résultats synthétiques des analyses granulométriques pour l'ensemble de la colonne sédimentaire sur chaque carotte, elle reprend les résultats présentés dans le chapitre précédent sur les sédiments superficiels. Les logs des sondages carottés indiquent une certaine hétérogénéité verticale et horizontale au sein de la zone à draguer.

<sup>2</sup> Le sondage carotté SC37 éloigné des zones de dragage ne sera pas pris en compte pour l'estimation des volume par filière de valorisation

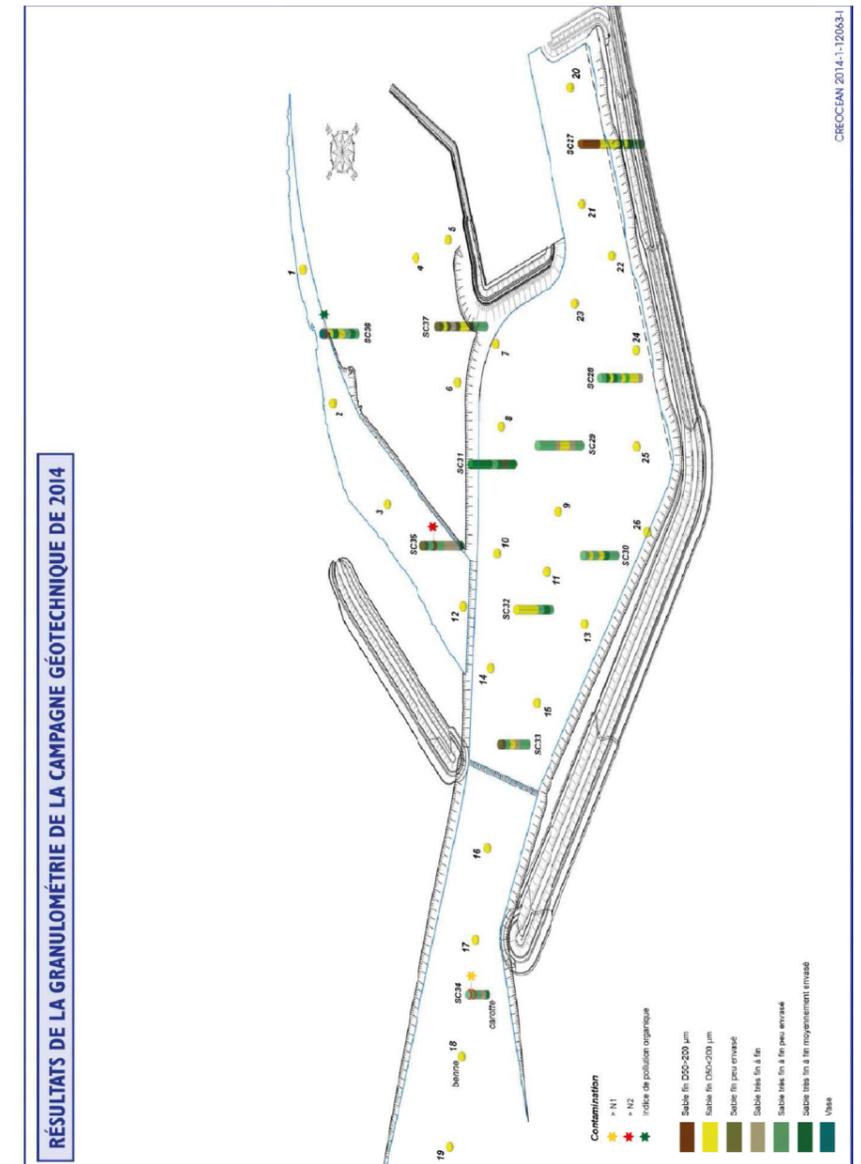


Figure 9. Synthèse sur la granulométrie des sédiments sur l'ensemble de la colonne sédimentaire

**3.3.1.3. Synthèse sur la granulométrie**

Au regard de l'ensemble des données granulométriques de la campagne géotechnique de 2014, les sédiments correspondent essentiellement à des sables très fins à fins. Seule la zone du chenal aval présente une teneur en fraction fine très élevée, type sédiment envasé. **La zone d'avant-plage au Nord de la zone de dragage présente quant à elle des sables purs fins à moyens.**

On notera cependant une hétérogénéité quant à la teneur en fraction fine des sédiments sableux, valeurs comprises entre 0,21 (sable pur) et 37,38% (sable moyennement envasé). Nous ne pouvons donc pas considérer les sédiments comme totalement homogènes sur l'ensemble de la zone de dragage tant horizontalement qu'au sein de la colonne sédimentaire.

**3.3.2. Couleur des sédiments**

Les descriptions des couleurs des sédiments présentées dans le rapport de GINGER (2014) font état en grande majorité de sables grisés. Quelques variations sont observées avec du sable gris-beige, marron/gris, gris foncé ou noir.

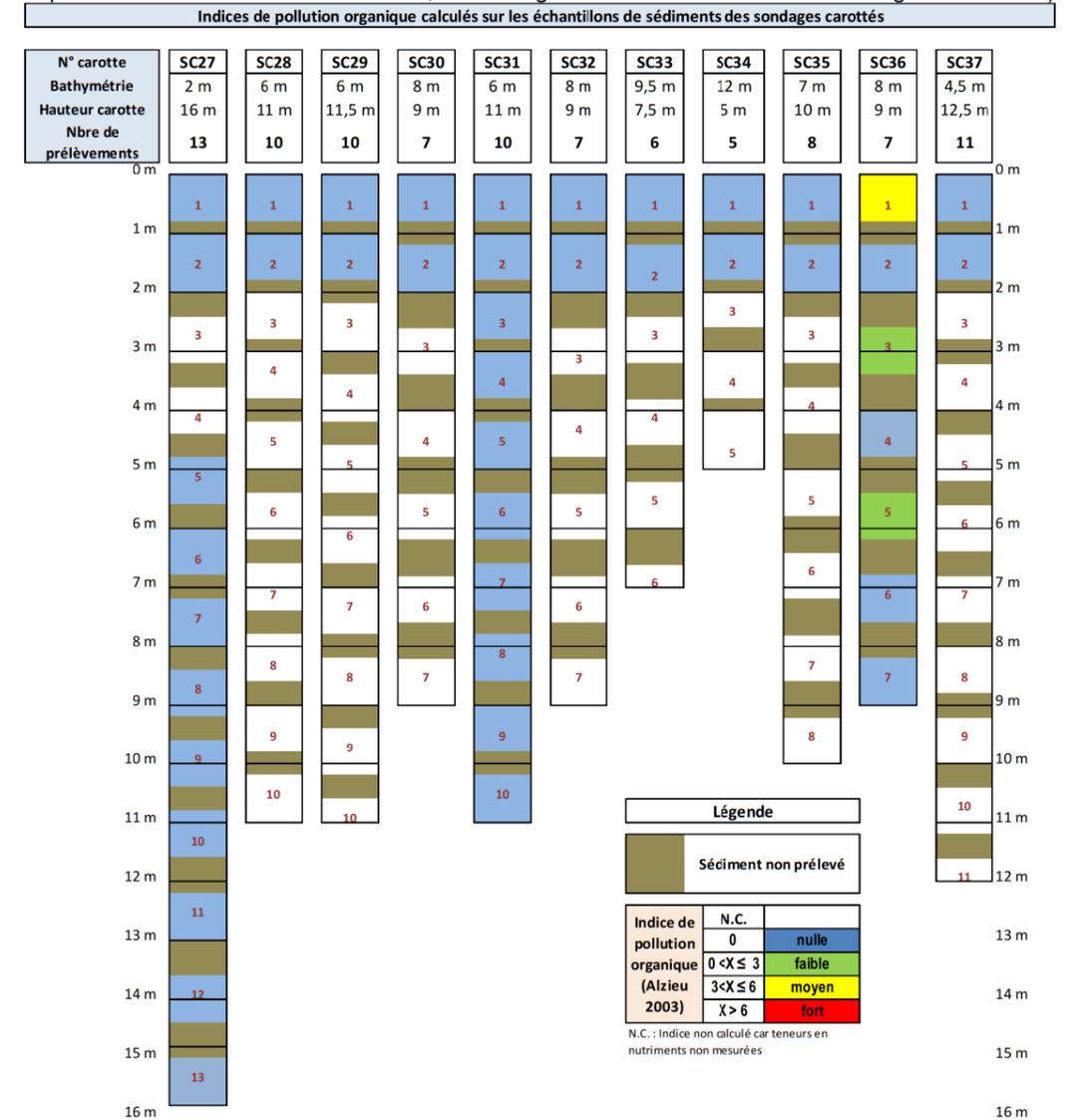
Seules les carottes SC27 et SC28 présentent des niveaux de sable beige soit à la base soit au sommet. Nous noterons que la teinte grisée des sédiments peut-être influencée par l'enrichissement en fraction fine souvent non négligeable sur les échantillons des sondages carottés.

**3.3.3. Enrichissement organique**

**3.3.3.1. Résultats des analyses**

Les teneurs en nutriment (azote et phosphore) et matière organique ainsi que l'indice de pollution organique sont détaillés dans l'annexe 9.2. On notera que cet indice ne peut être présenté que pour une partie des échantillons des sondages carottés (échantillons supérieures uniquement) en raison d'une analyse partielle des 94 échantillons lors des tests environnements en laboratoire. On notera que seules les échantillons des carottes SC31 et SC36 ont été analysés dans leur intégralité.

L'enrichissement le plus important est mesuré dans les sédiments de surface (échantillons superficiels des carottes, Figure 10 et Figure 11)



Comme pour les sondages carottés, les sédiments prélevés à l'extérieur du port actuel en secteur marin (bennes 3 à 26) sont peu enrichis et présentent ainsi un indice de pollution organique nul à faible.

Les sédiments prélevés dans l'avant-port actuel présentent un enrichissement plus élevé d'un niveau faible à moyen (annexe 9.2).

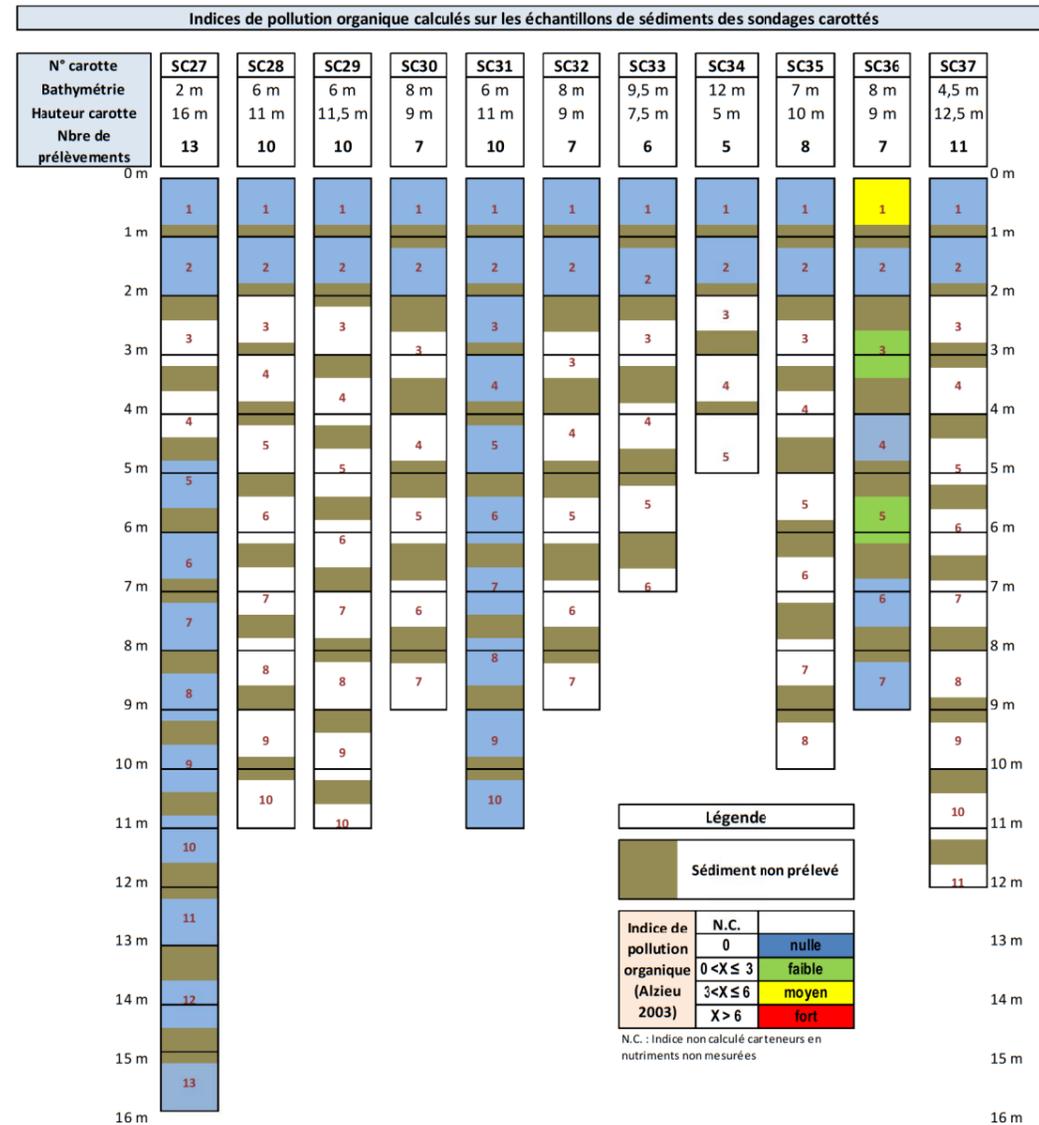


Figure 10. Indices de pollution organique calculés sur les échantillons de sédiments des sondages carottés

Campagne géotechnique		
Prélèvement	station	Indice pollution organique
benne	1	moyen
benne	2	faible
benne	3	nulle
benne	4	nulle
benne	5	nulle
benne	6	nulle
benne	7	faible
benne	8	nulle
benne	9	nulle
benne	10	nulle
benne	11	nulle
benne	12	nulle
benne	13	nulle
benne	14	nulle
benne	15	nulle
benne	16	nulle
benne	17	nulle
benne	18	nulle
benne	19	nulle
benne	20	nulle
benne	21	nulle
benne	22	nulle
benne	23	nulle
benne	24	nulle
benne	25	nulle
benne	26	nulle

Figure 11. Indices de pollution organique calculés sur les échantillons de sédiments prélevés par benne

### 3.3.3.2. Synthèse sur l'enrichissement organique

Au niveau de l'emprise du futur bassin portuaire les sédiments sont globalement peu enrichis (enrichissement organique d'un niveau nul à moyen) et témoignent d'une faible eutrophisation sur l'ensemble de la zone et de la colonne sédimentaire. Les sédiments présentant l'enrichissement le plus important (indice de pollution organique moyen) sont localisés en surface au niveau du chenal d'accès et de l'avant-port actuel (bennes 1 et 2 et échantillon superficiel de la carotte SC36).

**3.3.4. Contamination chimique des sédiments**

120 analyses ont été réalisées au total pour évaluer la qualité des sédiments présents au niveau de la zone d'emprise du futur bassin sur les 26 bennes et les 11 sondages carottés réalisés. Les données sont présentées en annexe 9.2.

La carte et le tableau ci-dessous synthétisent les niveaux de contamination sur la base des valeurs de référence N1 et N2 pour les prélèvements réalisés par sondages carottés (points SC27 à SC37) et par bennes (points 1 à 26). Pour les sondages carottés sont représentés les niveaux les plus importants pour chaque carotte.

De manière générale, la zone du futur bassin portuaire apparaît comme relativement peu contaminée avec seulement sept échantillons présentant une contamination au regard des seuils réglementaires. Les dépassements observés sont :

**Des dépassements du niveau N2 très localisés :**

- ✓ pour 5 HAP dans le sédiment profond de la carotte de sondage SC35 au large du port actuel et au niveau du futur bassin (benzo(a)anthracène, le benzo(b)fluoranthène, le dibenzo (ah)anthracène, phénanthrène, pyrène) ;

**Des dépassements du niveau N1 à plusieurs endroits :**

- Au niveau du futur bassin
  - o pour 3 HAP dans le sédiment superficiel sur 2 points de prélèvements par benne (phénanthrène, acénaphène, fluorène) ;
  - o pour 8 HAP dans le sédiment profond de la carotte de sondage SC35 (acénaphène anthracène benzo(a)pyrène benzo(k)fluoranthène chrysène fluoranthène fluorène naphtalène) ;
  - o pour l'arsenic dans le sédiment superficiel sur 1 point de prélèvement par benne.
- Au niveau du bassin d'amortissement et passe d'entrée actuelle
  - o Pour 2 HAP dans le sédiment superficiel sur 2 points de prélèvements en 2014 (phénanthrène, acénaphène) ;
- Au niveau de la future passe d'entrée
  - o pour 7 HAP dans le sédiment superficiel de la carotte de sondage SC34 (acénaphène, anthracène, benzo(a)anthracène, chrysène, fluoranthène, fluorène phénanthrène) ;

Les HAP sont les composés majoritairement présents dans les sédiments du futur bassin portuaire. Les sources de ce type de composés sont nombreuses et variées. Leur présence est caractéristique des activités industrielles-portuaires et on les retrouve dans de nombreux ports de commerce et militaire (REPOM 2009). Des dépassements du niveau N2 ne sont retrouvés qu'en profondeur dans la carotte SC35. La source de cette contamination localisée à la couche de sédiment entre -2,4 et 3,2 m reste à ce jour indéterminé. Les teneurs dans les autres sections de la carotte (dont le sédiment superficiel) ne dépassent les seuils N1 pour aucun contaminant chimique y compris les HAP.

Campagne géotechnique						
Prélèvement	Stations	Nombre échantillons analysés	synthese qualite chimique	Contaminants dépassant les niveaux N1 et N2	section de carotte	
carotte	SC27	13	≤ N1			
carotte	SC28	10	≤ N1			
carotte	SC29	10	≤ N1			
carotte	SC30	7	≤ N1			
carotte	SC31	10	≤ N1			
carotte	SC32	7	≤ N1			
carotte	SC33	6	≤ N1			
carotte	SC34	5	> N1	7 HAP	acénaphène anthracène benzo(a)anthracène chrysène fluoranthène fluorène phénanthrène	1 (-0 / -0,8m)
carotte	SC35	8	> N1	8 HAP	acénaphène anthracène benzo(a)pyrène benzo(k)fluoranthène chrysène fluoranthène fluorène naphtalène	3 (-2,4 / -3,2m)
			> N2	5 HAP	benzo(a)anthracène benzo(b)fluoranthène dibenzo(ah)anthracène phénanthrène pyrène	
carotte	SC36	7	≤ N1			
carotte	SC37	11	≤ N1			
benne	1	1	> N1	1 HAP	acénaphène	
benne	2	1	> N1	2 HAP	acénaphène phénanthrène	
benne	3	1	≤ N1			
benne	4	1	≤ N1			
benne	5	1	≤ N1			
benne	6	1	≤ N1			
benne	7	1	≤ N1			
benne	8	1	> N1	1 HAP	phénanthrène	
benne	9	1	≤ N1			
benne	10	1	≤ N1			
benne	11	1	> N1	2 HAP	acénaphène fluorène	
benne	12	1	> N1	1 métal	arsenic	
benne	13	1	≤ N1			
benne	14	1	≤ N1			
benne	15	1	≤ N1			
benne	16	1	≤ N1			
benne	17	1	≤ N1			
benne	18	1	≤ N1			
benne	19	1	≤ N1			
benne	20	1	≤ N1			
benne	21	1	≤ N1			
benne	22	1	≤ N1			
benne	23	1	≤ N1			
benne	24	1	≤ N1			
benne	25	1	≤ N1			
benne	26	1	≤ N1			
total		120		27		

Tableau 7. Tableau de synthèse sur la contamination chimique des sédiments prélevés par carottages et par bennes lors des investigations géotechniques de 2014

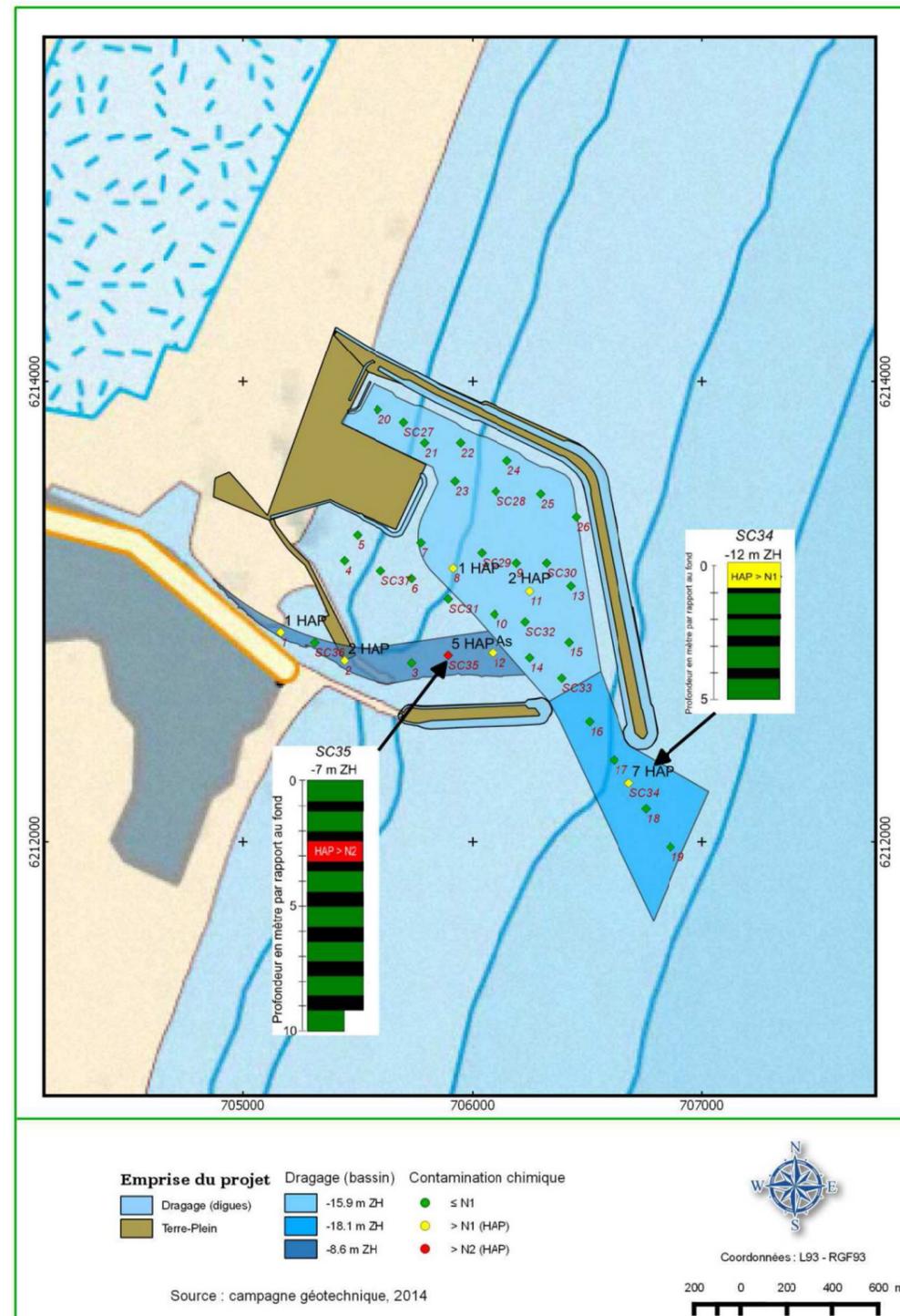


Figure 12. Synthèse sur la contamination chimique des analyses de la campagne géotechnique – basés sur les valeurs maximales pour les carottes

### 3.3.5. Tests de lixiviation

Les sédiments dans l'emprise du futur bassin portuaire ne peuvent pas être considérés comme des déchets inertes (cf annexe 9.3). La nature marine des sédiments explique les dépassements de seuil pour les paramètres chlorures, sulfates et fraction soluble. En effet, l'eau de mer contient une quantité importante de sels dissous qui entraînent les dépassements observés en chlorure, sulfate et fraction soluble. Il est à noter que le problème des chlorures ne se pose pas si la valorisation des sédiments se fait au contact du milieu marin (plage, dune, port, salines...).

A titre indicatif, excepté pour un dépassement de la teneur en chlorures pour la carotte SC36 tranche1, et pour les points de prélèvements par benne 1 et 2 tous les paramètres mesurés présentent des valeurs inférieures aux critères établis dans le cadre des procédures d'admission des déchets non dangereux et dangereux dans les décharges. En conclusion, les sédiments analysés ne sont donc pas considérés comme des déchets dangereux au sens de la Décision communautaire n° 2003/33/CE ([http://www.ineris.fr/a\\_ida/consultation\\_document/1595](http://www.ineris.fr/a_ida/consultation_document/1595)). Il est à noter que le paramètre chlorure lixiviable dépasse toutefois les critères d'admission en centre de stockage pour les déchets non dangereux pour 3 échantillons (SC36 tranche1, et pour les points de prélèvements par benne 1 et 2).

Dans le cadre d'une gestion à terre de sédiments dragués il conviendra donc d'intégrer les impacts potentiels de sels (chlorures et sulfates) pour l'ensemble des sédiments de la zone à draguer.

### 3.4. CONCLUSION SUR LA QUALITE DES SEDIMENTS DE LA ZONE DU PROJET

L'analyse des paramètres granulométriques indique la présence dominante des sables très fins à fins sur une majorité de la zone de futur bassin portuaire et donc sur la zone de dragage avec toutefois des sédiments de nature hétérogène en fonction de la profondeur sédimentaire et du point considéré. On notera également un taux d'envasement de l'ordre de 15 % en moyenne pour le site avec des variations importantes entre le chenal actuel et l'avant-plage au nord. Les sédiments ne peuvent toutefois pas être considérés comme totalement homogènes sur l'ensemble de la zone de dragage tant horizontalement qu'au sein de la colonne sédimentaire.

En termes de qualité, les analyses physico-chimiques montrent que le sédiment apparaît comme relativement peu enrichi et peu contaminé au niveau du futur bassin portuaire et des zones à draguer.

Les sédiments les plus enrichis sont localisés au niveau de l'avant-port actuel. Six spots de contamination par les HAP et 1 par l'arsenic sont toutefois présents dans les sédiments de surface et en profondeur en différents endroits. Cette contamination reste ponctuelle.

**Dans le cadre de la législation des matériaux à draguer**, les analyses des contaminants indiquent 27 dépassements des niveaux réglementaires (22 dépassements de N1 et 5 dépassements de N2) sur 120 échantillons analysés. Des niveaux de dépassements supérieurs à 1,5 fois les niveaux de référence sont observés pour 12 des 27 composés dont les teneurs dépassent les niveaux de référence. 7 échantillons sur 120 analysés présentent des dépassements des niveaux de référence. Toutefois ces dépassements ne concernent que 7 échantillons sur 120 analysés au total.

Il est à noter qu'au niveau de la digue sud actuelle, localisée également dans les zones à draguer, des analyses réalisées en 2011 dans le cadre des travaux de renforcement de la digue sud (IDRA 2012) montre que le musoir présente à une échelle très localisée une contamination des sédiments par les HAP avec plusieurs composés dépassant les niveaux N1 (acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)pyrène) et N2 (naphtalène, acénaphthène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a) pyrène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(ghi)pérylène, indeno(1,2,3cd)pyrène). Ces valeurs sont très supérieures à celles observées depuis 10 ans mais restent toutefois très ponctuelles (localisées sur un seul point de prélèvement). La source de ce spot de contamination reste à ce jour indéterminée.

**Au niveau de la gestion à terre**, les sédiments dans l'emprise du futur bassin portuaire ne peuvent pas être considérés comme des déchets inertes. La nature marine des sédiments explique les dépassements de seuil pour la fraction soluble et les sels. Dans le cadre d'une gestion à terre de sédiments dragués il conviendra donc d'intégrer les impacts potentiels de sels (chlorures et sulfates) pour l'ensemble de la zone à draguer si les matériaux ne sont pas valorisés au contact du milieu marin.

## 4. FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES

Chaque année, environ 50 millions de m<sup>3</sup> de sédiments marins sont extraits (principalement pour l'entretien des structures portuaires déjà existantes).

D'une manière générale les déblais des dragages sont peu pollués et sont donc très souvent immergés. On remarque que cette tendance est clairement observée sur les côtes méditerranéennes : 97,24 % des sédiments dragués sont placés en zone de clapage et 0,75 % en dépôt en mer (sur zone autorisée sous conditions particulières) (CETMEF 2012).

En revanche, une autre partie des déblais peut être très contaminée et il est alors inévitable de prévoir d'autres voies de valorisation pour ces sédiments. Les modalités de stockage et de valorisation de ceux-ci sont encore assez floues et peu encadrées réglementairement.

On notera sur le tableau du CETMEF suivant que les filières à terre sont très peu utilisées en Méditerranée (seulement 0,96 % contre 4,72 % en Manche). Il n'existe pas encore de stratégie nationale bien définie sur ce sujet.

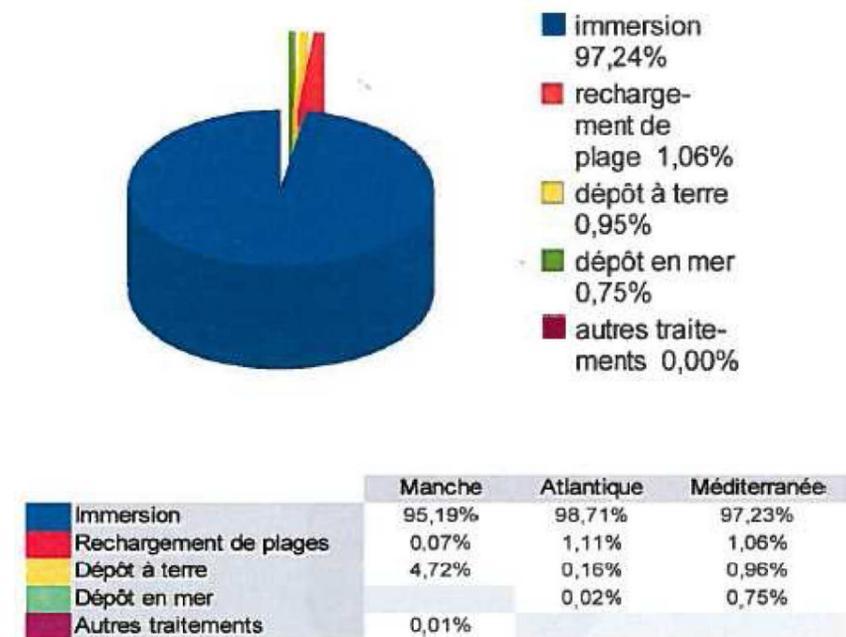


Tableau 8. Filières de valorisation pour les sédiments de dragage en fonction des régions (source : CETMEF)

Etant donné le volume de déblais de dragage généré dans le cadre du projet de Port-La nouvelle, la gestion de ces sédiments doit inclure de multiples voies de valorisation d'utilisation de ces sédiments (plusieurs filières de valorisation et d'élimination).

**4.1. FILIERES EN MER : 1<sup>ERE</sup> VOIE DE VALORISATION**

**4.1.1. Remblais dans la construction du port**

Les sédiments dragués dans le cadre de travaux portuaires peuvent être réutilisés pour les travaux de construction des futurs ouvrages. Pour cela, il est essentiel que les sédiments possèdent des caractéristiques géotechniques (essais de portance, granulométrie,...) compatibles avec les projets d'aménagement.

Le risque de percolation des eaux et de libération des lixiviats doivent être maîtrisés. L'utilisation des sédiments à cette fonction pourraient nécessiter un prétraitement en particulier en fonction des critères granulométriques des sédiments dragués.

L'utilisation de géotextiles présente un fort potentiel. Ils peuvent être utilisés pour assurer un stockage des sédiments (gain de place) et pour confiner les sédiments les plus dangereux (géotextile anti-contaminant). Toutefois, les études sont encore récentes, il y a de nos jours peu de retours d'expériences sur ce procédé pour des remblais portuaires. Les géotextiles, tels que les géotubes TenCate ou autres fabricants, sont utilisés pour des aménagements de type protection des côtes, exemple du Lido de Sète. **On notera toutefois, que même en géotube, les sédiments pour les remblais ou autres aménagements portuaires ne doivent pas avoir une granulométrie fine (> 80 µm uniquement).**

Cette voie de valorisation ne concerne que les sédiments inertes du point de vue de la contamination chimique, hors chlorures et autres éléments liés à l'origine marine du sédiment, et peut nécessiter un prétraitement (assèchement, lixiviation).

Avantages	Inconvénients
Quantité importante pouvant être valorisée	Peut nécessiter un prétraitement et un tri granulométrique et dans ce cas d'une zone de « stockage » temporaire
Moins de transport (proximité de la zone de dépôt : chantier à quelques mètres)	Sédiments inertes – hors non inertes en raison de l'origine marine du sédiment
Economie sur l'achat de matériaux de remblais	Utilisation possible de membranes géotextiles pour les sédiments pollués dans la limite de la granulométrie utilisable
Faible bilan carbone	

Tableau 9 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des déblais dans les travaux de construction

Dans le cadre du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle, la valorisation des sédiments dragués dans les travaux maritimes est prévue pour les travaux de construction de remblais de terre-pleins et de la plate-forme logistique du nouveau port.

**4.1.2. Rechargement en sable des plages**

L'érosion des plages est une problématique importante à la fois pour l'activité balnéaire mais aussi pour la protection contre le risque inondation ou submersion marine. Dans le cadre du projet plusieurs rapports présentant l'évolution du trait de côte ont été produits (HYDRO-R002 et HYDRO-R003).

Les matériaux pouvant servir à recharger une plage sont très dépendants des caractéristiques principales du sable déjà présents sur la plage, c'est-à-dire sa granulométrie et sa couleur :

- La couleur du sable doit être similaire à celle de la plage pour des raisons d'intégration paysagère ;
- La granulométrie ne doit pas être inférieure à celle du sable de la plage sous peine que le sable soit emporté rapidement par la mer. Il est essentiel d'avoir une granulométrie égale ou supérieure pour pallier à cela.

Aussi, une séparation granulométrique pourrait être réalisée dans le cas d'utilisation de sable contenant un pourcentage de fraction fine, afin de valoriser uniquement le sable.

Le tableau suivant représente les avantages et inconvénients recensés lors de la recherche bibliographique.

Avantages	Inconvénients
Quantité importante pouvant être valorisée	Critères granulométrique et de couleur
Moins de transport (proximité de la zone de dépôt : plage voisine)	Respect des cellules sédimentaires
Avantage balnéaire	Sédiments inertes uniquement

Tableau 10 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des déblais pour le rechargement des plages

Dans le cadre du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle, la commune étant à la limite de deux cellules sédimentaires, le rechargement des plages pourra s'effectuer au sein de ces deux cellules. La première est celle de Leucate-Port-La Nouvelle (au Sud) et la seconde est celle de Port-La Nouvelle-Narbonne plage (au Nord). Nous rappelons que la granulométrie de ces deux sites est sensiblement différente, avec un D50 autour de 210 µm au Nord et de 300 µm au Sud.

**4.1.3. Alternatives au rechargement de plage**

**4.1.3.1. Rechargement au fil de l'eau**

Des études sur les différentes méthodes de protection des littoraux ont mis en évidence une alternative au rechargement des plages émergées : le rechargement des barres d'avant-côte. Cette méthode présente l'avantage d'une granulométrie plus compatible avec les sédiments de dragage souvent plus fins que les plages émergées.

Des essais réalisés en région Languedoc-Roussillon semblaient remettre en cause l'utilité de cette méthode, les sédiments rechargés semblent ne pas rester en période hivernal. On notera cependant que l'objectif principal est de cet apport est un rechargement à l'échelle de la cellule sédimentaire. Des études complémentaires devraient permettre d'estimer le volume pouvant rester dans la cellule rechargée sur un cycle d'une année.

Dans le cadre du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle, ce type de valorisation a été demandé par la DREAL mais nécessiterait des études approfondies pour en évaluer l'intérêt autour de Port-La Nouvelle au regard des conditions hydrodynamiques actuelles et à l'horizon 2100 mais également l'impact environnemental sur un site Natura 2000 en mer (les bancs sableux littoraux).

#### 4.1.3.2. Réhabilitation des cordons dunaires

Une autre alternative est la réhabilitation des cordons dunaires pour des zones sensibles aux phénomènes d'érosion et/ou de submersion marine. Ce type de projet nécessite l'utilisation de quantité relativement importante de sédiments de type sable généralement plus fin que sur la plage émergée. A titre d'exemple, une réhabilitation dunaire sur 1 km peut nécessiter l'utilisation de plus de 0,35 Mm<sup>3</sup> de sédiments (EID, com. Personnel).

Au vu des dégradations de plus en plus fréquentes des côtes du Languedoc-Roussillon, ce type de valorisation pourrait présenter un intérêt croissant.

Les cordons dunaires étant considérés comme appartenant à l'espace maritime, des sédiments d'origine marine peuvent être utilisés sans problèmes liés à des taux de sulfates ou autres composés liés à leur origine.

#### 4.1.4. Clapage en mer

Cette méthode consiste à immerger les sédiments en mer. Elle nécessite des moyens nautiques appropriés pour le transport et le rejet des matériaux dragués, ainsi que la disponibilité d'un site d'accueil pour lequel cette opération ne nuira (ou faiblement ou temporairement) ni à son équilibre environnemental ni aux autres activités exercées à proximité. La notion de proximité tient compte de la faculté de transport des éléments solubles et des particules fines contenues dans les déblais de dragage sous l'action des agents hydrodynamiques.

Ce type de solution comprend trois points majeurs :

- Localiser le site de rejet en fonction de paramètres multiples (courantologie, sédimentologie, biologie benthique, présence ou non d'activités, protection réglementaire de la zone...);
- Déterminer les caractéristiques de la barge (contenance, longueur, largeur...) pour les clapages par rapport aux dimensions du port, à la distance zone de dragage-site de clapage, au nombre moyen de rotations journalières, aux conditions de mer, au trafic maritime local...;
- Programmer les horaires de clapage en fonction du rendement du chantier d'extraction, des temps de route et des conditions courantologiques.

Le clapage en mer est possible sans restriction pour les sédiments non pollués :

- Ensemble des teneurs en éléments chimiques inférieurs au seuil N1 si existant ;
- Absence d'eutrophisation.

Pour des sédiments dont le seuil de contamination est compris entre les niveaux N1 et N2, une investigation supplémentaire est nécessaire. La réglementation prévoit une possibilité d'utilisation des sédiments quelques soient leur seuil de contamination dans le cas où la solution proposée est la moins dommageable pour l'environnement (cf. principe de la Convention de Londres).

Cette méthode permet d'éviter le stockage à terre. Cependant, le clapage est assez mal perçu par les habitants et les associations environnementales car cette opération a des impacts, bien que temporaires, sur l'environnement. En effet, le clapage entraîne, par remise en suspension, une augmentation de la turbidité dans l'eau et la destruction d'habitats et d'espèces au niveau de la zone de clapage et ces proches alentours. Les sédiments peuvent aussi être entraînés par de forts courants.

Le tableau suivant représente les avantages et inconvénients recensés lors de la recherche bibliographique.

Avantages	Inconvénients
Coût plus faible des travaux	Impact écologique
Moyens à disposition (drague présente pour le chantier)	Difficulté de mise en place pour des sédiments pollués
Délai assez rapide d'exécution	Mal perçu des associations
Sédiments réutilisables/tri granulométriques en milieu naturel à titre provisoire	

Tableau 11 : Avantages et inconvénients du clapage des déblais

Dans le cadre du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle, le clapage est envisagé pour une partie des sédiments dragués. Deux types de zones de clapage pourraient être utilisées:

- Une zone définie à titre définitif ;
- Une zone définie à titre provisoire. Cette seconde zone devra répondre à des critères permettant une reprise ultérieure des sédiments dragués par exemple pour du rechargement de plage ou autre travaux maritimes.

Une note de cadrage et méthodologique produite au printemps 2014 (rapport d'étude ENV-NCC-R001) a ainsi permis dans une première approche de pré-identifier des zones de clapages potentielles soit définitives soit provisoires pour reprises ultérieures des sédiments.

A ce stade du projet, le clapage est envisagé comme solution non définitive essentiellement. Il s'agit de proposer des sites d'immersion permettant une reprise ultérieure des sédiments clapés pour différents usages tels que du rechargement de plage.

## 4.2. FILIERES A TERRE : 2<sup>NDE</sup> VOIE DE VALORISATION

La valorisation ou l'élimination des déblais de dragage à terre, ne doit se faire que si les solutions en mer ne sont pas envisageables ou insuffisantes. En effet, la circulaire du 4 juillet 2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux permet le dépôt ou la commercialisation (filieres à terre) des seuls matériaux excédentaires (qui n'ont pu être immergés ou utilisés sur le domaine maritime – portuaire, ensablement des plages, etc.). La condition principale à cette commercialisation est la non-contamination des matériaux et qu'elle se limite aux matériaux excédentaires provenant d'extractions strictement limitées aux besoins des travaux maritimes ou fluviaux.

Seules les mises en dépôts ou en stockage (non commercialisation) ne sont pas soumises à l'obligation de non-contamination.

Pour l'ensemble de ces filieres terrestres, un prétraitement sera sans doute nécessaire à minima au regard de l'origine marine des sédiments. Un dessalage peut être envisagé avant utilisation sur un sol non salé. L'élimination des eaux salées issues du traitement de dessalage pose également un problème en termes d'impact environnemental (augmentation de la salinité du milieu récepteur).

### 4.2.1. Stockage en carrière ou réhabilitation de carrières

Le stockage des matériaux en carrières présente certaines contraintes, suivant qu'elles sont en activités ou non. Celles abandonnées, ou inactives, sont susceptibles de poser, *a priori*, le moins d'entraves. Celles en activité ne disposent généralement pas en l'état de surfaces disponibles pour le stockage des déblais portuaires.

La mise en dépôt des matériaux extraits (après phase de séchage) en carrière peut nécessiter certains aménagements préalables, notamment pour éviter toute incidence du stockage sur l'hydrologie et sur l'hydrogéologie locale (proximité d'aquifères, cours d'eau...).

Généralement, la mise en place d'une membrane géotextile imperméable permet d'assurer l'étanchéité du site de dépôt. Il est également possible de disposer une couche d'argile (l'argile étant un matériau très peu poreux).

Lors d'une réhabilitation de carrière, il conviendra d'utiliser des matériaux inertes puisque la pause d'une couche imperméable n'est pas obligatoire.

Pour un simple stockage des matériaux, il est préférable que les carrières soient en arrêt d'activité. Le tableau suivant établit la liste des carrières correspondant à ce critère dans la région Languedoc-Roussillon.

Département	Carrières	Activité
11	Guintoli SAS (2)	Arrêt
11	SARL Barbis Raymond	Cessation
11	STE SCREG Sud-Ouest	Cessation en cours
11	IMERIS Minéraux France	Arrêt
11	Cazals SAS	Arrêt
30	Lautier Moussac Boucoirant	Arrêt
30	Martin Andre Saint Felix de Pallie	Arrêt
30	Charpentier	Arrêt
30	Ferropem Saint Victor les Oules	Arrêt
30	Germain Rene Treves	Arrêt
34	Carmeuse France	Arrêt
34	Baldare	Cessation en cours
34	Leygue Henri SARL	Arrêt
34	ITALMARBLE Pocaï	Arrêt
34	Carrières et travaux du Sud Ouest (CTSO)	Cessation en cours
34	GUINET DERRIAZ Mourèze (2)	Cessation en cours
34	RAZEL	Cessation en cours
66	MORET Pallares Bouleternere	Cessation en cours
66	GUINTOLI SAS	Arrêt
66	SATP Millas	Cessation en cours

Tableau 12. Liste des carrières à l'arrêt, ou en cours de cessation d'activité dans le Gard, l'Hérault les Pyrénées-Orientales et l'Aude. (DREAL du Languedoc-Roussillon, 2011<sup>3</sup>).

<sup>3</sup><http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/carrieres-r520.html>

#### 4.2.2. Génie civil et aménagement

Les sédiments les plus utilisés sont souvent ceux possédant une importante fraction fine, puisqu'ils sont généralement en excédant vis-à-vis des filières dans le domaine maritime côtier. Ainsi, un tri granulométrique doit être mise en place. Les sédiments sont souvent mélangés à d'autres composés afin d'obtenir des matériaux utilisables. Des essais géotechniques doivent être mis en place afin de vérifier l'adéquation entre le produit obtenu et son usage futur.

Cette utilisation nécessite un traitement pour des sédiments pollués ou seulement un prétraitement pour certaines filières (déshydratation partielle pour la piste cyclable). Aucun contaminant n'est autorisé au sein des matériaux de construction (la norme XP P 18-545 de février 2004 est la plus générale et reprend les définitions, la conformité et les spécifications des granulats).

Ces techniques font toujours l'objet de recherches et d'expérimentations, mais certaines de ces filières voient le jour. Par exemple, en 2006, la création d'une piste cyclable sur la baie du Mont Saint Michel a vu le jour à l'aide du procédé Acti.100 ; procédé liant, apportant une consistance nécessaire à la construction de la piste cyclable et au maintien du sédiment.

##### 4.2.2.1. Technique routière

Pour les techniques routières, des sédiments non inertes mais non dangereux peuvent être acceptés. Ils existent de nombreux référentiels en particulier le « Guide des terrassements Routiers (SETRA, 1992) et le Guide d'acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières – Evaluation Environnementale (SETRA, Mars 2011).

##### 4.2.2.2. Aménagement paysager

Les sédiments peuvent être employés pour la création d'espaces naturels et de zones de loisirs, sous réserve d'être inertes ou de faire l'objet d'une étude environnementale qui démontrera l'absence d'impact pour la santé et le milieu.

##### 4.2.2.3. Produits de construction

Cette utilisation nécessite un traitement pour des sédiments pollués. En effet, aucun contaminant n'est autorisé au sein des matériaux de construction (la norme XP P 18-545 de février 2004 est la plus générale et reprend les définitions, la conformité et les spécifications des granulats).

L'utilisation est également régie par l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockages des déchets inertes (annexe II).

Comme matériaux de construction, c'est surtout la partie sableuse des sédiments qui est recherchée. Le sable peut être utilisé, par exemple, pour toutes les filières du béton. Pour celles-ci il convient de déterminer par l'analyse granulométrique le diamètre des sédiments. Parmi les granulats utilisés pour le béton on retiendra trois classes granulométriques susceptibles d'être extraites lors du dragage :

- Les fillers : diamètre < 2 mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Les sablons ; diamètre ≤ 1 mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Les sables : diamètre entre 1 et 6,3 mm.

Les sables grossiers peuvent également servir pour réaliser des sous-couches de routes ou de terrains de football. Ces techniques font toujours l'objet de recherche et d'expérimentations, mais certaines de ces filières voient le jour.

#### 4.2.2.4. Exemples

- Création d'un complexe sportif (stade de football, piste de course et terrain de pétanque) avec comme soutènement les sédiments de dragage à Port-la-Forêt (Finistère) ;
- Création d'acropode (Artélia) ;
- Réalisation d'un terre-plein pour le parcage des camions (utilisation de 40 000 m<sup>3</sup> de sédiments) pour le port de Cherbourg ;
- Formation de coulis pour le comblement de réseaux désaffectés de charbonnage dans le Nord-Pas de Calais ;
- Valorisation en aménagement paysager pour une reconstitution du paysage (montagnes, bord de routes, etc.) ;
- Valorisation de 500 000 tonnes de sédiments pour la construction d'un échangeur autoroutier à Limbourg en Belgique par l'entreprise ENVISAN ;
- Réalisation de pistes cyclables avec les sédiments du port de Dunkerque ;
- Création d'un tronçon de route de 600 mètres dans le port de Dunkerque ;
- Formation d'éco-voies : l'entreprise ARD propose la construction de pistes cyclables, de chemins littoraux et de voies vertes en utilisant des sédiments mélangés à des substances liantes et hydrofuges ;

#### 4.2.2.5. Avantages/inconvénients

Avantages	Inconvénients
Valorisation de sédiment à fraction fine	Traitement de type dessalage sans doute obligatoire (sédiments marins => non inertes au regard des chlorures en particulier)
Création de zones de loisirs	Absence de risque à justifier
	Proximité du site de dragage pour intérêt économique et environnemental (bilan carbone)
	Calendrier en accord entre les travaux de dragage et les besoins du projet de type génie civil

**Tableau 13 : Avantages et inconvénients des filières de valorisation dans le génie civil et l'aménagement**

#### 4.2.3. Valorisation agricole

La valorisation agricole n'est envisageable que si :

- Les sédiments présentent un intérêt agronomique pour le sol ou pour la nutrition des cultures ou des plantations ;

- L'usage et la manipulation des sédiments lors de cette opération ne portent pas atteinte à la santé, à l'état phytosanitaire des cultures, de la qualité des sols et des milieux aquatiques (cf. l'article R211-31 du Code de l'Environnement) ;
- L'accord des propriétaires des parcelles concernées par l'opération est obtenu.

#### 4.2.4. Couverture d'installation de stockage de déchets

Les sédiments peuvent pour ceux représentant une nature fine et argileuse, être utilisés dans les couvertures intermédiaires ou définitives d'installations de stockage de déchets (ISD). Ils doivent respecter les caractéristiques d'admissibilité des déchets non dangereux définies par l'arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non-dangereux ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/5673/version\\_pdf](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5673/version_pdf)). Pour la couverture définitive de l'installation de stockage de déchets, seuls les sédiments inertes peuvent être utilisés.

#### 4.2.5. Filières de mise en dépôt à terre / d'élimination

Il s'agit de stocker à long terme les sédiments sans risque pour l'environnement. La valorisation ou l'élimination des déblais de dragage à terre ne doit se faire que si les solutions en mer ne sont pas envisageables ou insuffisantes. Le stockage (non commercialisation) n'est pas soumis à l'obligation de non-contamination, mais les sédiments sont classés de manière à être considérés comme :

- inerte ou non inerte ;
- dangereux ou non dangereux.

Ce type de filière est également envisagé dans le cadre de la gestion de déblais du projet d'agrandissement portuaire de Port-La Nouvelle.

##### 4.2.5.1. Stockage dans les installations de stockages de déchets inertes ISDI

Le stockage de sédiments dans les ISDI nécessite l'obtention par le maître d'ouvrage d'une acceptation préalable (Article 9 de l'arrêté du 28 Octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes, [http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/3965/version\\_pdf](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/3965/version_pdf)). Comme indiqué précédemment. Les sédiments dragués doivent être testés et respectés, les critères définis pour les déchets inertes dans l'arrêté du 28 Octobre 2010 pour pouvoir être stockés dans ce type de centre.

Dans le cadre du projet d'agrandissement de Port-La Nouvelle, conformément à l'arrêté du 28 Octobre 2010, des tests de lixiviation ont été réalisés sur les sédiments afin d'examiner leur caractère inerte ou non inerte.

##### 4.2.5.2. Stockage dans les installations de stockages de déchets non dangereux ISDND

Les installations de stockage de déchets non dangereux sont réglementées par l'arrêté du 09 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/5673/version\\_pdf](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5673/version_pdf)). Les sédiments peuvent être envoyés dans des installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND) sous réserve de respecter les valeurs d'acceptation définies dans leur arrêté d'autorisation d'exploiter.

Dans le cadre du projet d'agrandissement de Port-La Nouvelle, ce type de stockage est envisagé si les caractéristiques physico-chimiques des matériaux le permettent.

A proximité du site du projet (Port-La Nouvelle), le centre de la société SITA SUD à Narbonne, est dédié principalement aux déchets non dangereux (ISDND). La zone exploitée actuellement est la

zone Lambert 2. Le site est conçu pour recevoir des ordures ménagères résiduelles, des refus de prétraitements externes, des déchets industriels banals non valorisables et des encombrants non valorisables.

Une nouvelle zone de stockage est en cours : le Lambert 4 (arrêté préfectoral du 18 janvier 2013 n°MB/DL -2012-204)<sup>4</sup>. Le projet d'exploitation du nouveau site porte sur une surface de 260 800 m<sup>2</sup> avec une surface de stockage d'environ 143 800 m<sup>3</sup> représentant une surface développée après réaménagement d'environ 152 200 m<sup>2</sup> aménagée en un seul casier pour une capacité de 3 686 000 m<sup>3</sup> environ de déchets non dangereux. Ce nouveau centre n'a pu cependant être pris en considération dans l'évaluation pour l'instant.

Avantages	Inconvénients
Convient à des sédiments très pollués	Coût important pour le transport
Centre proche du projet	Sédiment non dangereux

Tableau 14 : Avantages et inconvénients identifiés par rapport au stockage des déblais en ISDN

##### 4.2.5.3. Stockage dans les installations de stockages de déchets dangereux ISDD

Les installations de stockages de déchets dangereux sont réglementées par l'Arrêté du 30 décembre 2002 relatif aux installations de stockages des déchets dangereux ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/5255/version\\_pdf](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5255/version_pdf)). Les sédiments peuvent y être admis sous réserve de respecter les conditions d'admissions définies par leur arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter. Si ce n'est pas le cas ils devront subir un traitement physique, chimique ou biologique.

#### 4.2.6. Les terrains de dépôts de sédiments

Les terrains de dépôts de sédiments sont des installations de stockages de déchets. Ils sont soumis à autorisation au titre de la législation relative aux installations classées pour l'environnement (ICPE), au titre de la rubrique n°2 760 de la nomenclature. Ils sont encadrés selon le caractère dangereux ou non des sédiments qui y seront stockés, par l'arrêté du 30 décembre 2002 relatif aux installations de stockage de déchets dangereux ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/5255/version\\_pdf](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5255/version_pdf)) ou par l'arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non-dangereux modifiés ([http://www.ineris.fr/aida/consultation\\_document/5673/version\\_pdf](http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5673/version_pdf)).

<sup>4</sup> [http://www.aude.gouv.fr/IMG/pdf/Avis\\_AE\\_18\\_01\\_2013\\_cle559ba2.pdf](http://www.aude.gouv.fr/IMG/pdf/Avis_AE_18_01_2013_cle559ba2.pdf)

## 5. FILIERES DE VALORISATION ENVISAGEES DANS LE CADRE DU PROJET

### 5.1. ANALYSES DES FILIERES DANS LE CADRE DU PROJET

Le

Tableau 15 présente une synthèse des filières recensées. Pour certaines filières, nous ne pouvons pas déterminer précisément leur acceptabilité/faisabilité à ce stade soit par besoin d'informations complémentaires soit en raison d'une nécessité de coordination en différents projets.

Des organismes tels que l'UNICEM, la Chambre agricole et des installations de stockage de déchets ont été contacté afin de préciser les possibilités de gestion ou non au niveau de ces filières. Nous n'avons cependant pas eu de réponses à ce jour. Le document sera mis à jour lors de la réception de ces informations.

Filières	Envisagées	Type de sédiments	Motifs de « rejet »
En mer	Rechargement de plage	Oui	Tous types hors contaminés – réflexion nécessaire par rapport à la fraction fine et sable très fin
	Rechargement au fil de l'eau	Oui	Tous types hors contaminés
	Travaux maritimes	Oui	Sables de granulométrie supérieure à 80 µm et non contaminés
	Clapage à titre provisoire	Oui	Tous types de sédiments hors contaminés
	Clapage à titre définitif	Oui	Sédiments contaminés, entre les seuils N1 et N2
A terre	Génie civil (construction, technique routière)	Non actuellement	Sables, hors contaminés et non inertes Problème de dessalement et nécessité de coordination avec un projet « proche » pour améliorer le bilan carbone

Aménagement paysager	Non	Tous types de sédiments, hors contaminés et non inertes	Sédiments marins => non inerte, problème de dessalement
Agricole	Non	Tous types de sédiments, hors contaminés et non inertes	Sédiments marins => non inerte, problème de dessalement
Carrières	Non (attente de précision de la part de l'UNICEM)	Tous types de sédiments, hors contaminés et non inertes	Sédiments marins => non inerte, problème de dessalement
Installations de stockage	Fonction des résultats des tests de lixiviation et écotoxicologique (attente de précision des Installations de stockage)	Selon type d'installation non-inerte non dangereux/non-inertes dangereux, inertes (sédiments contaminés avec un seuil > N2)	En fonction du volume, peut ne pas être accepté par les installations
Terrain de dépôts	Sera retenue en fonction des besoins de traitement et de la coordination des planning de travaux	Tous types de sédiments	

Tableau 15. Synthèse des filières envisagées/écartées

Les filières de valorisation envisagées pour la gestion des sédiments de dragage dans le cadre du projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle sont synthétisées ci-dessous. Cette réflexion a pris en compte les aspects réglementaires, les caractéristiques du site du projet, des sédiments ainsi que les besoins éventuels identifiés. Les filières retenues prennent également en compte les résultats des différentes réunions avec le maître d'ouvrage et la DREAL du Languedoc-Roussillon.

Une estimation des volumes souhaités et disponibles pour les filières envisagées est également proposée au regard des besoins. Ces volumes sont affinés dans le chapitre besoin pour prendre en compte la caractérisation physico-chimique des sédiments à dragués.

#### 5.1.1. Utilisation pour les terre-pleins et de la plate-forme logistique du futur port

La valorisation des sédiments de dragage comme remblais pour les futurs aménagements portuaires est considérée comme une valorisation en domaine marin/littoral. De ce fait, une utilisation des déchets considérés comme non inertes en raison de leur origine marine ne présente pas de problème particulier pour ce type de réutilisation.

Le volume nécessaire pour la réalisation du terre-plein portuaire est de l'ordre de 1 million de m<sup>3</sup> (873239\_AVP\_DRA\_001\_Rev1). De plus, la réalisation de la plate-forme logistique devrait nécessiter l'utilisation d'un volume de l'ordre de 1,5 millions de m<sup>3</sup> de sédiments compatibles avec le projet, cette valorisation nécessitera une coordination des plannings des travaux à la fois de dragages et construction des plates-formes. La valorisation pour la réalisation des plates-formes

nord et du parc logistique dépend du calendrier des travaux. Elle ne pourra être réalisée que dans le cas d'une synchronisation entre les travaux de dragage et les aménagements.

Les sédiments dragués présentant une contamination chimique quelle qu'elle soit, ne peuvent être utilisés directement sans une dérogation. Au vu des résultats d'analyses, un traitement des sédiments extraits des zones contaminées devra être réalisé afin d'éliminer les HAP ou autre composé chimique dépassant les seuils N1 ou N2.

Il est à noter que pour la réalisation des remblais hydraulique et de la plate-forme, les particules sédimentaires doivent avoir un diamètre supérieur à 80 µm, un tri granulométrique sera donc éventuellement nécessaire en fonction du sédiment utilisé, zone de sable pur ou non, et de l'élimination naturelle lors du dragage.

### 5.1.2. Rechargement en sable des plages voisines

Au regard de la stabilité actuel du trait de côte de ces deux cellules, l'estimation des besoins est faite au regard des hypothèses d'élévation du niveau marin pour 2100 liée au changement climatique (PLN 2015\_Note Impact changement climatique, 2014). A ce jour, un rechargement sur une portion de littorale de 2 km au Nord du futur site portuaire afin d'anticiper les effets potentiels de la digue (cf annexe, 8713239-AVP-TEP-R002-V1) est envisagé. Le volume estimé est compris entre 2 et 2,2 millions de m<sup>3</sup>. L'objectif de ce rechargement est de déplacer le trait de côte actuel vers le large pour compenser la montée du niveau des mers et les effets des aménagements du futur port ainsi que d'assurer une meilleure protection vis-à-vis des aléas submersion et érosion.

- Pour rappel, les hypothèses d'élévation sont :
  - Hypothèse optimiste : 0,4 m,
  - Hypothèse pessimiste : 0,6 m,
  - Hypothèse extrême : 1,0 m.

On notera également que le niveau de l'aléa 2100 définie officiellement considère une élévation de 0,4 m du niveau de l'aléa de référence dans le Golfe du Lion, soit un niveau de +2,4 m NGF pour le Golfe du Lion.

Les sédiments à draguer présentent un diamètre médian sensiblement inférieur aux sables des plages existantes, en particulier au Sud de Port-La Nouvelle. En effet le diamètre médian des sédiments à draguer est de l'ordre de 150 µm contre un diamètre médian supérieur à 230 µm pour les plages concernées. Nous envisageons donc un rechargement plus important afin de prendre en compte la perte des sédiments les plus fins, soit un minimum de 4 Mm<sup>3</sup>. Le rechargement de la plage au Sud du port n'est pas envisagé à ce stade à la fois par rapport à sa faible évolution mais aussi par rapport à sa granulométrie plus grossière, de l'ordre de 300 µm pour le diamètre médian.

Une possibilité de reprise en direct pour d'autre site est également envisagée et nécessitera une coordination avec les communes plus éloignées pouvant être intéressées par les sédiments dragués afin de planifier une récupération des sédiments en direct au moment des travaux de dragage. Au vu des connaissances sur la granulométrie des plages du Languedoc-Roussillon, seules pourraient être intéressées, les communes entre le grau de la Vieille Nouvelle et Frontignan. D'après le BRGM (2011), le diamètre médian pour ces zones est compris entre 0,18 et 0,34 mm contre un diamètre médian entre 0,2 et 0,5 mm plus au Nord. Les volumes pour cette voie ne sont pas calculés dans ce document.

### 5.1.3. Rechargement au fil de l'eau

Ce type de valorisation est envisagé uniquement au niveau des avant-plages, par rapport au niveau marin pour l'horizon 2100. Ce type de valorisation n'est envisagé que sur dans un rayon de

10 km autour de la zone de travaux. Il doit prendre en compte la profondeur d'accessibilité des dragues, la présence de sites sensibles tels que les parcs conchylicoles, les récifs artificiels, les graus etc... De plus, la bande littorale autour de Port-La Nouvelle appartient à un site Natura 200 en mer visant à la protection des habitats de types bancs sableux. Cette voie n'est donc pas écartée mais ne semble pas être à privilégier et elle ne pourra concerner que de faibles volumes de sédiments. Ce type de valorisation est proposé essentiellement à but expérimental et ne pourra concerner qu'un très faible volume de sédiments soit un volume inférieur à 100.000 m<sup>3</sup>.

### 5.1.4. Clapage en mer avec reprise ultérieure potentielle

Cette filière est envisagée pour les sédiments ne pouvant pas être utilisés pour une valorisation immédiate. La zone devra être définie afin de permettre une reprise ultérieure par des tiers pour des rechargements de plage ou autres travaux maritimes ou de l'ordre du génie civil. A ce stade, une zone pouvant accueillir au maximum 7 Mm<sup>3</sup> de sédiments va être recherchée/étudiée.

Les clapages en mer sont la dernière alternative envisagée en termes de valorisation en mer des sédiments de dragage. Les zones de clapages devront être considérées comme des zones de stockage temporaire uniquement.

Une reprise potentielle en vue principalement de rechargement de plage est donc envisagée pour ces zones. Nous ne prendrons cependant pas en compte ce paramètre dans l'estimation des volumes pour cette solution. Sous l'effet, des facteurs hydrodynamiques, les sédiments clapés seront modifiés en termes de granulométrie et potentiellement d'eutrophisation.

### 5.1.5. Clapage en mer à titre définitif

Cette voie n'est envisagée que pour de faibles volumes, ce l'ordre de 80.000 m<sup>3</sup> au maximum, et sera soumise à autorisation pour les sédiments faiblement contaminés en HAP.

### 5.1.6. Installations de stockage

Ce traitement des sédiments en tant que déchets à terre est fonction des tests de lixiviation et si nécessaire d'écotoxicologie notamment sur la fraction présentant une contamination aux HAP supérieure au seuil réglementaire N2, les sédiments pourront être considérés comme déchets non inertes dangereux ou non dangereux et pourront alors être déposés en installation de stockage de type ISDND (non dangereux) ou ISDD (dangereux). Ceci ne concernera qu'une très faible quantité de sédiments, inférieure à 25.000m<sup>3</sup>.

Nous attirons cependant l'attention sur le fait que bien que ce volume soit faible au regard du projet, il peut s'avérer trop important pour être accepté en installation de stockage pour lesquels les volumes annuels sont relativement limités, comme exemple le centre ISDND de Narbonne (Lambert IV) n'acceptera que 100.000 m<sup>3</sup> par an et une partie de ce volume est « réservé » pour d'autres projets annuellement.

### 5.1.7. Filières à terre

Concernant les filières du génie civil, filières terrestres, celles-ci ne sont pas prises en compte dans ce document pour l'estimation des volumes en raison de :

- Des sédiments d'origine marine qui nécessiterait un dessalement et donc un très important impact environnementale à la fois par rapport au besoin en eau et au rejet d'eau salée ;
- L'absence de projet planifié actuellement qui pourrait se coordonner avec les opérations de dragage. Ce point pourra cependant être réétudié ultérieurement en fonction de travaux du BTP qui pourrait se développer dans le secteur de Port-La Nouvelle.

Toutefois, suite aux prises d'informations réalisées dans le cadre du projet, une réutilisation des sédiments en vue de la fabrication du béton pourrait intéresser certaines entreprises. Cette

valorisation est envisageable, sous réserve que les teneurs en contaminants et autres paramètres (teneurs en chlorures lixiviables ; sulfates lixiviables, fraction soluble etc...) soient conformes aux seuils réglementaires.

**5.1.8. Alternative en mer : réhabilitation de cordon dunaire**

Cette filière de valorisation n'est pas exclue à ce stade. Cependant, ce type projet nécessitera une coordination avec des projets de réhabilitation dunaire pouvant intervenir au moment des travaux de dragage afin de ne pas avoir à réaliser de stockage temporaire des sédiments.

Les dernières tempêtes ayant fortement affecté le littoral du Languedoc-Roussillon, cette voie pourrait présenter un intérêt certain. Ceci est renforcé par la granulométrie des sédiments dragués qui se rapprochent plus de celles des cordons dunaires que des plages émergées.

En terme de besoin, les volumes sont très variable en fonction des sites et des projets mais ceux -i peuvent représenter plus de 300.000 m<sup>3</sup>.

**5.2. ZONAGE ET VOLUME SELON LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE**

L'interprétation des analyses physico-chimiques permet de définir un zonage du site de dragage en fonction de la granulométrie et de la contamination sur sédiment brut.

La Figure 13 présente les différents compartiments identifiés :

- ✓ Zones présentant une contamination comprise entre les seuils N1 et N2, généralement en surface uniquement ;
- ✓ Zones présentant une contamination chimique supérieure au seuil N2 ;
- ✓ Zone présentant un enrichissement organique, indice de pollution organique > 1 ;
- ✓ Zone envasée ;
- ✓ Zone de sable pur ;
- ✓ Zone de sable très fin à fin à teneur variable en fraction fine, généralement sable peu à moyennement envasé.

La carte présente également les volumes concernés pour chaque compartiment. Les hypothèses de calcul choisies prennent en compte les volumes maximum des zones contaminées. Les hypothèses de calculs sont les suivantes :

- ✓ Estimation de la zone contaminée pour les points isolés en surface : rayon de 50 m autour du point<sup>5</sup> sur une épaisseur de 0,5 m dans le cas des bennes et de 0,8 m pour les carottes ;
- ✓ Cas de la contamination de la troisième tranche du sondage SC35 : on considère l'ensemble de l'épaisseur jusqu'au fond marin comme contaminée au vue des difficultés d'extraction séparément de cette couche ;

<sup>5</sup> Ce rayon est adapté aux limites de la zone de dragage

- ✓ Estimation de la zone contaminée pour des points contigus (hors bassin d'amortissement/chenal) : on considère l'ensemble de la zone intermédiaire comme polluée sur une épaisseur de 0,5 m pour des bennes ;
- ✓ Bassin d'amortissement et chenal aval : bien que SC36-1 n'indique pas de dépassement des seuils réglementaires N1 ou N2, on considère l'ensemble de la zone comme contaminée sur 0,8 m en raison de la grande quantité de vase présente et des résultats indiquant un seuil > N1 sur la zone et en périphérie immédiate ;
- ✓ Estimation pour la zone de sable pur : on considérera uniquement la zone des très petits fonds comme constituée de sable pur, en effet la carotte SC28 présente des sédiments de type peu envasé. Pour cette zone nous considérons une épaisseur de sable pur jusqu'à la limite de la côte de dragage majorée, soit -16,4 m ZH.

**On notera que pour la majorité des échantillons présentant une contamination chimique comprise entre N1 et N2, celle-ci ne concerne que quelques HAP, généralement 1 à 2. Seule la carotte SC34, au large, présente un dépassement de seuil lié à l'arsenic et non aux HAP, volume estimée de 6 273 m<sup>3</sup>.**

Le Tableau 16 présente les volumes estimés pour chaque critère retenu pour l'analyse des sédiments en vue de leur valorisation (sables pur, contamination chimique ou organique et dangereux ou non au regard des seuils pour les HAP des sédiments non inertes). On rappelle que l'ensemble des sédiments est considéré comme non inerte au vue des teneurs en chlorure et des dépassements des seuils réglementaires pour la fraction soluble sur lixiviat. Ces teneurs sont liées à l'origine marine des sédiments et non à une contamination.

	Total de la zone	Sable pur	Chenal actuel (sédiments vaseux)	N1<x<N2 - dont chenal	> N2	IPO* > 1	Dangereux (hors sulfates et chlorures)
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	10 200 000	1 126 579	28.038	39 190	25 460	3 671	0
<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	1 270 312	87 635	35 048	70 351	8 656	4 590	0

**Tableau 16. Estimation des volumes selon les critères majeurs de qualité physico-chimique (IPO : indice de pollution organique)**

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

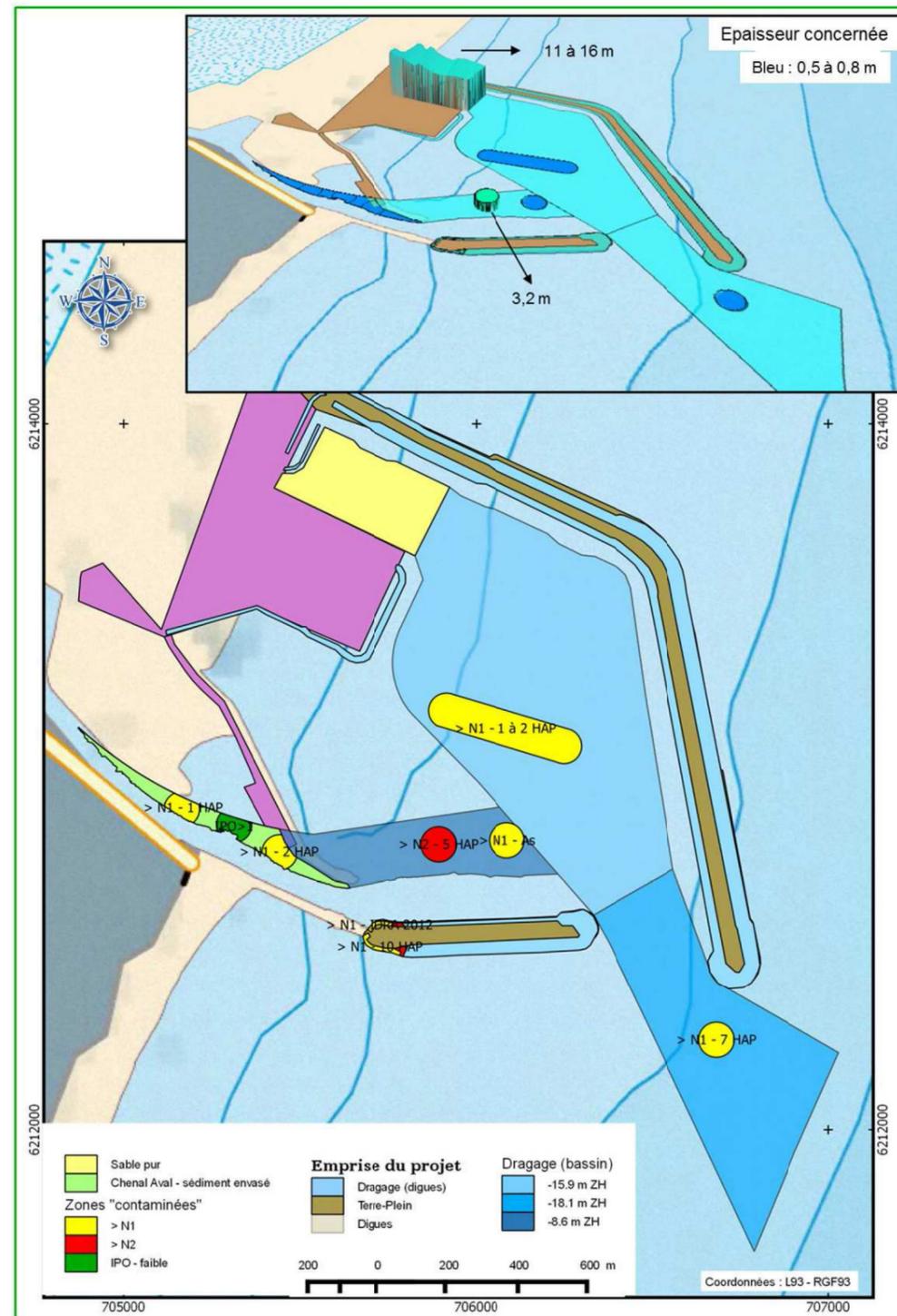


Figure 13 : Zonage au regard de la caractérisation physico-chimique des sédiments.

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Selon les filières de valorisation considérées, les classes granulométriques utilisables peuvent différer. Nous avons donc calculé à l'échelle de la zone de dragage les teneurs en fonction soit de l'approche de type BTP qui place la limite de la fraction fine à 80 µm, soit de l'approche sédimentologique/environnementale pour laquelle cette limite est à 63 µm.

Le Tableau 17 présente les deux approches et les volumes estimés pour chacune en fonction des résultats des analyses granulométriques et des classes pouvant être utile selon les voies de valorisation. On notera que le volume des zones contaminées est intégré dans ces estimations à l'exception des zones présentant un seuil de contamination supérieur à N2. La première partie du tableau ne distingue que la fraction fine selon la classification du BTP et les sables, ceci permet une bonne estimation des volumes disponibles pour les remblais hydrauliques et la plate-forme logistique. La seconde partie du tableau présente les volumes selon une approche plus sédimentologique et environnementale afin de prendre en compte les besoins d'évaluations des filières de type rechargement de plage ou de barres mais aussi du clapage en mer et des réutilisations potentielles.

Type	Classe granulométrique	Fraction fine	Sable
		≤80 µm	> 80 µm
<b>BENNE ET CAROTTES</b>	% Fraction totale	15,25	84,75
	Volume total (m <sup>3</sup> )	1 555 500	8 622 923
<b>CAROTTES SEULES</b>	% Fraction totale	19,70	80,30
	Volume total (m <sup>3</sup> )	2 004 384	8 170 156
<b>"SABLE PUR"</b>	% Fraction totale	7,50	92,50
	Volume total (m <sup>3</sup> )	84 239	1 018 535
<b>Hors CHENAL ACTUEL</b>	% Fraction totale	12,10	87,90
	Volume total (m <sup>3</sup> )	1 231 116	8 943 396

Type	Classe granulométrique	Fraction fine	Sable très fin à fin	Sable fin/moyen	Sable grossier
		≤ 63 µm	63 < x ≤ 200 µm	200 < x ≤ 500 µm	500 < x ≤ 2000 µm
<b>BENNE ET CAROTTES</b>	% Fraction totale	11.30	62.10	25.60	1.00
	Volume total (m <sup>3</sup> )	1 149 723	6 318 389	2 604 682	101 745
<b>CAROTTES SEULES</b>	% Fraction totale	13.70	61.20	24.40	0.70
	Volume total (m <sup>3</sup> )	1 393 912	6 226 818	2 482 588	71 222
<b>"SABLE PUR"</b>	% Fraction totale	5.75	35.15	53.20	5.90
	Volume total (m <sup>3</sup> )	63 314	387 043	585 795	64 966
<b>Hors CHENAL ACTUEL</b>	% Fraction totale	8.20	64.30	26.70	0.80
	Volume total (m <sup>3</sup> )	834 310	6 542 211	2 716 595	81 396

Tableau 17. Volume et teneur au regard des fractions granulométriques spécifiques

**5.3. VOLUMES PAR FILIERE ENVISAGEE**

Filières	Rappel critères	Volumes (m <sup>3</sup> ) Benches + Carottes	Besoin estimé	Volume utilisé (m <sup>3</sup> )	Sédiments utilisés	Remarque	Commentaire
Remblais	Géotechnique : sable pur, contamination	8 583 733	2,5 Mm <sup>3</sup>	2 500 000	Fraction > 80 µm hors zones "polluées"	La zone de sable pur couvre les besoins pour les remblais du terre-plein	Nécessité propable de tri granulométrique pour les plate- formes
Rechargement de plage	Granulométrie (200 µm), couleur, contamination**	2 604 682	2 - 5 Mm <sup>3</sup>	4 000 000	63 à 500 µm, hors zones "polluées", volume majorée pour prendre en compte la perte naturelle	Nécessité de concertation au regard de la granulométrie	
Rechargement au fil de l'eau	Contamination **		100 000	à définir	Tous les sédiments hors pollués	estimation basée sur un dépôt de 0,5 m sur 10 km de long et 20 m de large	Volume disponible suffisant
Clapage	Contamination (seuils N1 et N2)		< 7 Mm <sup>3</sup>	à définir	Tous sauf zones "polluées"	Dérogation potentielle pour les sédiments ayant un seuil contamination < N2	Solution alternative pour les sédiments non utilisés
Rehabilitation dunaire	Contamination**	8 583 733	À définir		Tous les sédiments hors pollués	Volume utilisable à définir en fonction des projets potentiels	

Tableau 18. Estimation des volumes par filière de valorisation en mer

**Remblais pour la construction du terre-plein portuaire et de la plate-forme logistique**

Le volume de sédiments considérés comme étant des sables purs peut couvrir l'ensemble des besoins pour le remblai du terre-plein portuaire. En revanche, ce volume ne couvrira pas les besoins pour la plate-forme Nord et le parc logistique.

L'utilisation des sables plus ou moins envasés pourra nécessiter un tri granulométrique si cette fraction n'est pas suffisamment éliminée lors des opérations de dragage.

**Rechargement de plage**

Nous prenons en compte pour nos calculs une granulométrie relativement plus fine que celle des plages du fait de l'objectif du projet qui est de faire avancer le trait de côte actuel. Une partie des sédiments sera donc en domaine immergé où la fraction sableuse présente une granulométrie légèrement inférieure à celle de la plage émergée.

**On rappelle qu'une grande partie de cette fraction sera lessivée au cours des opérations de dragage. De plus, selon accord préalable, les sédiments même légèrement envasés peuvent être utilisés pour du rechargement de plage en attente d'un « lessivage » naturel.**

Les volumes présentés dans le Tableau 18 ne prennent pas compte des aspects coloration des sédiments. Ceux-ci étant quasi entièrement de couleur grise ou teinte grisée. De plus, ces calculs ont été envisagés selon les mêmes hypothèses que pour les remblais, soit avec ou sans les zones polluées.

**D'après ces estimations, les volumes disponibles correspondent à l'hypothèse basse en terme de besoin pour le rechargement si l'on considère le critère granulométrique.**

**Rechargement au fil de l'eau**

Cette voie est proposée essentiellement à titre expérimentale et ne couvre donc qu'une faible partie du littoral. Nous envisageons pour l'estimation des volumes, de couvrir uniquement une bande de 20 m à proximité de la seconde barre d'avant-côte afin de prendre en compte l'accessibilité par les dragues.

**Réhabilitation de cordon dunaire**

La réhabilitation est mentionnée comme voie potentiel, cependant en l'absence de projet concret qui pourrait se coordonner avec le planning des travaux de dragage nous ne pouvons établir une évaluation des besoins en terme de volume.

Nous avons considéré que l'ensemble de la fraction sableuse supérieure à 80µm pouvait être utilisé pour ce type de projet. Ceci sera à redéfinir précisément en fonction des sites potentiels.

**Clapage en mer**

Le clapage en mer à titre provisoire n'est envisagé que pour les sédiments ne pouvant être valorisés. Nous prenons en compte une hypothèse haute afin d'avoir la meilleure estimation possible du site potentielle d'accueil. Celui-ci devra répondre aux critères permettant une reprise ultérieure.

Le clapage à titre définitif n'est proposé que pour les sédiments contaminés ne dépassant pas les seuils N1 et N2 et ce en fonction des résultats des tests d'écotoxicologies à mener et des autorisations des services de l'état. Les volumes envasés du chenal qui représentent environ 30 000 m<sup>3</sup> pourront également être déposés sur cette zone, il est à noter qu'ils intègrent également une partie de sédiments contaminés. Cette zone devra pouvoir accueillir autour de 80 000 m<sup>3</sup> de sédiments ce qui est de l'ordre de la zone de clapage actuelle du port.

#### ✚ Dépôts en installation de stockage

Les volumes estimés pour cette voie correspondent donc à l'ensemble des sédiments présentant une pollution, soit contamination chimique, soit eutrophisation soit déchet non inerte non dangereux en raison d'un dépassement de seuil pour les contaminants chimiques.

Ces volumes peuvent très certainement être revus à la baisse si des traitements sont envisagés sur les sédiments présentant une contamination chimique comprise entre les seuils N1 et N2, ou en cas de dérogations.

Les volumes de sédiments « pollués » sont détaillés dans le Tableau 16 du chapitre 5.1.

## 6. REALISATION DES TRAVAUX DE DRAGAGE ET VALORISATION EN MER

### 6.1. GENERALITES

Au regard de la configuration du plan d'eau à draguer et des solutions de valorisation ou de mise en dépôt des sédiments mentionnées à la section précédente, l'entreprise de dragage qui sera attributaire des travaux, utilisera probablement trois types d'engins complémentaires :

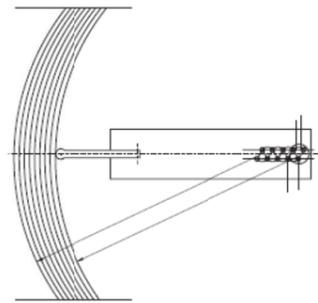
- une drague stationnaire (DAS), qui refoulerait les matériaux dragués par l'intermédiaire de canalisations sur le (futur) terre-plein portuaire et jusqu'à une distance de 2 à 3 kilomètres pour recharger la plage au nord du site ;
- une drague aspiratrice en marche (DAM), qui claperait les matériaux dragués sur le ou les site(s) identifié(s) au large du site (éventuellement aussi utilisée pour le rechargement de la plage au sud) ;
- Une pelle mécanique de forte capacité montée sur ponton, permettant de draguer à la cote requise dans des zones contraintes et/ou à proximité des ouvrages (fond de darse, zones du quai P4-5 et des postes vracs liquides P1, P2 et P3). Cette pelle chargera des chalands pour le clapage en mer des matériaux excavés.

A ce jour, l'étude d'impact n'a pas encore été émise, et les contraintes que le dossier d'autorisation pourraient imposer sur les travaux ne sont pas identifiées. Nous faisons l'hypothèse que le processus de dragage aura lieu de façon continue, soit 24h/24 et 7j/7.

### 6.2. DRAGAGE A L'AIDE D'UNE DAS (DRAGUE STATIONNAIRE)

Sous sa forme la plus courante, la drague aspiratrice stationnaire (DAS) ou drague suceuse à désagrégateur a une coque en forme de ponton sans propulsion. Si la drague est non-automotrice, le déplacement d'un site à l'autre est assuré par un navire de servitude ou remorqueur. Cependant, certaines grandes dragues de ce type sont autopropulsées.

Le dragage se déroule lorsque la drague est ancrée. Le processus de dragage implique d'abord une puissante action de coupe, puis une aspiration et un déchargement par pompage via une conduite ou occasionnellement vers des chalands. L'opération de dragage se fait en papillonnant sur les amarrages latéraux. La rotation se fait sur un pieu arrière et l'avancement est obtenu en utilisant un deuxième pieu (à l'aide d'un charriot).



*Mouvement de la drague*

L'engin est équipé, au bout de son élince, d'un désagrégateur (cutter) rotatif qui déstructure les matériaux à draguer avant d'aspirer la mixture obtenue, avec une concentration de la mixture qui varie de 10 à 40 % selon les caractéristiques des produits dragués. L'élince est suspendue à une bigue par l'intermédiaire d'un treuil qui permet de régler le niveau de son cutter au-dessus du fond.



*Vue d'artiste d'une drague suceuse à désagrégateur*



*Exemples de types de désagrégateur*

Les dragues aspiratrices stationnaires refoulent la mixture draguée soit dans des chalands motorisés qui se positionnent à son côté, soit dans une conduite flottante connectée à l'arrière du ponton ou du navire.

Les principaux avantages des dragues suceuses à désagrégateur sont :

- la capacité de draguer une large gamme de matériaux, y compris des roches, et de convoier directement les matériaux dragués au lieu de déchargement ou de remblayage en les pompant avec de l'eau ;
- la capacité à opérer en eau peu profonde et de produire un fond de niveau uniforme avec une productivité élevée ;

- la possibilité, dans le cas de certaines dragues modernes, de draguer en suivant un profil prédéfini, par exemple dans des chenaux et de créer des pentes raides (si le matériau le permet) ;
- une productivité relativement élevée, dépendant des qualités mécaniques et de la granulométrie des matériaux, la profondeur d'excavation, la taille de la drague et la distance sur laquelle la mixture doit être refoulée.

Les inconvénients sont notamment les suivants :

- une sensibilité élevée aux conditions de la mer (surtout à la houle) ;
- la distance limitée à travers laquelle les matériaux dragués peuvent être convoyés de façon économique ;
- la dilution des matériaux dragués ;
- la nécessité d'un système d'ancrage susceptible d'entraver la navigation normale ;
- une profondeur de dragage limitée ;
- des frais de mobilisation élevés.

Les dimensions des dragues aspiratrices à désagrégateur varient des petites unités standardisées ou démontables jusqu'aux grandes unités capables de travailler dans des zones (relativement) exposées et avec une profondeur maximale de dragage d'environ 35 m. Habituellement elles sont classées en fonction soit du diamètre de leur conduite de déchargement, qui peut varier de 150 à 1 000 millimètres, soit de la puissance entraînant le désagrégateur, qui peut s'étendre de 15 à 6 000 kilowatts. La puissance installée totale peut s'élever à plus de 30 000 kW.

Une drague à désagrégateur est le plus souvent utilisée lors de l'excavation de bassins portuaires et de travaux de création de terre-pleins ou d'autres remblayages hydrauliques, mais cette même drague peut être employée dans de très nombreuses applications. Les DAS sont essentiellement utilisées en travaux neufs d'approfondissement ou de création de chenaux, plans d'eau et souilles, plus rarement pour des opérations d'entretien de profondeurs.

A la différence du dragage mécanique à la pelle, le processus d'aspiration qui est utilisé par ce type de drague, entraîne une dilution non négligeable des matériaux dragués parce que les sédiments se mêlent avec l'eau environnante. La production est dans le même ordre que celle d'une DAM, mais l'effet de dilution lors du processus d'aspiration et de pompage est plus grand, de sorte que les sédiments sont pompés à une densité (ou concentration) plus basse.

Comme mentionné, la drague suceuse à désagrégateur est une drague stationnaire avec au moins deux points d'ancrage latéraux qui sont nécessaires pour le processus de dragage. En raison de ces ancrs, elle peut gêner les mouvements des autres navires. Les dragues automoteurs utilisent leur système de propulsion, non seulement lors de la mobilisation, mais aussi pendant le déplacement d'un endroit à l'autre ou lorsque la zone de dragage doit être abandonnée lorsque du mauvais temps est prévu.

Dans des conditions exposées avec des vagues ou de la houle, une drague suceuse a clairement plus de limitations qu'une drague aspiratrice en marche même si elle est équipée de compensateurs de houle.

Dans la cadre de notre projet, une drague stationnaire pourrait être utilisée pour refouler, via une conduite flottante, les matériaux dragués (sous la forme d'une mixture eau-sédiments):

- Pour le rechargement de la plage Nord ;
- A l'intérieur des digues d'enclotures du futur terre-plein portuaire ;
- Eventuellement, pour remblayer la plateforme logistique à terre.

Cette drague stationnaire serait préférentiellement utilisée pour le dragage de la darse Nord (dans les zones où l'espace de manœuvre est assez réduit) ou encore dans les zones nécessitant une précision importante : par exemple pour les talus situés à l'ouest du cercle d'évitage.

Seul un moyen nautique à faible tirant d'eau (typiquement 2-3m pour une DAS) et pouvant progresser en draguant son propre chenal pourra draguer dans des faibles profondeurs (telles que la future darse nord). En effet, l'élinde d'une DAS étant située à l'avant, une DAS peut progresser en draguant son propre chenal, contrairement à une DAM qui possède une élinde trainante et dont le tirant d'eau (typiquement 6-7m) limite son accès aux zones à draguer.

Pour les fonds allant de 0 à -7mZH, la DAS est donc le seul moyen réellement mobilisable pour draguer le futur bassin intérieur. En effet, même si le dragage à la pelle mécanique (voir paragraphe suivant) pourrait en théorie lui aussi être mis en œuvre, l'évacuation par chaland conduirait à des rendements plus faibles et à des coûts plus élevés.



Exemple de drague stationnaire avec conduite de refoulement rechargeant une plage

En revanche, une drague aspiratrice stationnaire ne peut travailler que dans des zones peu agitées (Hs maximum admissible de l'ordre de 0,5m à 1m en fonction de la taille de la drague). C'est pourquoi, il serait préférable que la drague aspiratrice stationnaire soit mobilisée qu'une fois la digue principale (la digue Nord) suffisamment avancée afin que la drague puisse travailler dans la future darse Nord abritée des houles et ainsi limiter le risque de stand-by météo. Toutefois, au regard des conditions d'agitation moyennées sur un an présentes sur le site (Hs supérieure à 1m moins de 15% du temps et Hs supérieure à 0,5m moins de 30% du temps), les opérations de dragage pourraient être réalisées sans la présence de la digue Nord déjà construite, mais en s'exposant à un risque de stand-by (plus ou moins important selon la saison). En outre, en cas de mauvais temps, le port historique constituerait un port de repli à proximité immédiate.

Par ailleurs, afin de protéger les zones draguées par faible profondeur d'un remblaiement accidentel pouvant être occasionné par la houle, il est préférable de planifier le dragage du bassin portuaire seulement une fois qu'un linéaire suffisant de digue nord est construit.

Pour une DAS de puissance moyenne, une cadence typique est d'environ 100 000m<sup>3</sup> de matériaux en place dragués par semaine.

### 6.3. DRAGAGE A LA PELLE MECANIQUE

Pour des travaux de dragage de précision ou dans des zones difficiles d'accès pour une DAM ou pour une DAS, une pelle mécanique de forte capacité montée sur ponton devra probablement être mobilisée. Les matériaux seront alors chargés sur des chalands qui iront les claper en mer.

Typiquement la zone correspondant au linéaire de digue nord démolie devra sans doute être draguée à la pelle mécanique, du fait de la présence probable d'enrochements résiduels. De même pour la finalisation des talus de dragages à proximité des ouvrages des postes P1, P2 et P3.

Les limites d'opérabilité pour ce type de moyen nautique se situent entre 0,5m et 1m de Hs selon les tailles des dragues.

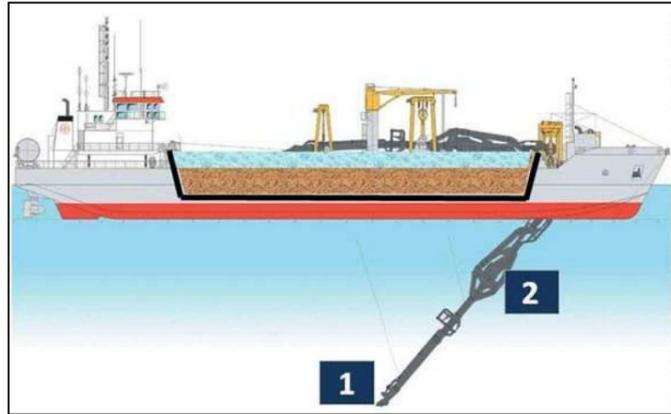


Exemple de drague à pelle mécanique

Pour une pelle mécanique montée sur ponton la cadence typique est d'environ 30 000 à 40 000m<sup>3</sup> de matériaux en place dragués par semaine.

### 6.4. DRAGAGE A LA DAM (DRAGUE ASPIRATRICE EN MARCHÉ)

La drague aspiratrice en marche (DAM) est un navire adapté à la navigation côtière ou de pleine mer, capable de charger, tout en naviguant, un puits intégré à sa structure au moyen d'une ou de plusieurs pompes centrifuges. Le chargement s'effectue tandis que le navire avance lentement (vitesses entre un et cinq nœuds). La plupart des DAM sont propulsées par des hélices jumelles et un puissant propulseur d'étrave, ce qui leur confère une excellente manœuvrabilité



Exemple d'une drague aspiratrice en marche

La (ou les) conduite(s) d'aspiration est équipée d'un "bec" ou d'une « crépine » (1) dont la fonction est de maximiser la concentration eau/solides entraînée du fond marin. À l'approche de la zone à draguer, la conduite d'aspiration (2), également appelée "l'élinde", est débordée à l'aide de treuils et de daviers (les "bossoirs"). Les pompes de dragage sont mises en route et le pompage se poursuit jusqu'au moment où le puits est plein. Avec des matériaux à grains fins, la charge économique maximale coïncide normalement avec le début du débordement du puits. Dans le cas de matériaux mixtes ou à gros grains, le pompage peut se poursuivre après le débordement du puits ("dragage avec surverse"). Durant la phase de chargement, l'eau en excès s'écoule par-dessus bord à travers le ou les déversoirs avec une partie des matériaux les plus fins qui sont restés en suspension, tandis que la fraction (de sable) à plus gros grains s'accumule dans le puits par le processus naturel de tassement, augmentant ainsi la quantité de sédiments effectivement chargée dans le puits au cours du processus de dragage.

Si la drague opère dans une zone où les matériaux sont très fins (argile, vase et limon), alors ceux-ci risquent de ne pas se déposer très rapidement. Lors du dragage de tels matériaux, l'augmentation de charge assurée par la poursuite du pompage au-delà du niveau maximum du trop-plein du puits ne sera pas significative.

Le recours à une DAM s'avère particulièrement intéressant si celle-ci peut travailler par surverse, ce qui ne peut être réalisé que si le taux de fines présents dans les sédiments dragués est faible. La surverse est intéressante d'un point de vue économique, mais n'est envisageable qu'en cas de sédiments très majoritairement sableux, ce qui est le cas pour le projet de Port-La Nouvelle.



L'élinde avec au bout la crépine, débordée à l'aide des treuils et des bossoirs

Pour les matériaux meubles, le matériau solide entraîné dans le flux d'aspiration depuis le lit de mer est principalement le résultat de l'action érosive du mélange entrant. La différence de pression facilite également l'ameublissement des matériaux granuleux. Pour les matériaux moins faciles à draguer, comme les sables denses ou l'argile ferme et tenace, on peut faciliter le détachement du lit de mer au moyen de jets d'eau à haute pression intégrés dans le bec d'élinde, de racleuses ou de lames. Après le passage de la crépine (bec d'élinde) on peut percevoir un sillon d'une profondeur de 0.50 m à 1.50 m suivant les conditions de dragages, le type de crépine et le matériau rencontré. Les plus grandes DAM peuvent atteindre des profondeurs de dragage de plus de 100 mètres. Normalement ces dragues sont classées en fonction de la capacité maximum de leur puits, qui s'étend actuellement de 750 à 46 000 m<sup>3</sup>.

Lorsque la drague est chargée, la ou les conduites d'aspiration sont ramenées à bord tandis que la drague navigue vers son site de déchargement. À l'arrivée, les solides sont déchargés, généralement par le fond ; les portes du fond du puits (les clapets) de la DAM sont ouvertes et les sédiments tombent au fond de la mer. Alternative à un tel déchargement direct, de nombreuses DAM sont équipées d'un système utilisant la pompe d'aspiration pour vider le puits en pompant les matériaux à travers une conduite de refoulement vers un autre site. Le déchargement par le fond ne nécessitera généralement que quelques minutes, tandis que le déchargement par pompage requiert souvent environ une heure ou plus. Occasionnellement, le déchargement par pompage peut aussi avoir lieu via une lance de refoulement en arc-en-ciel montée sur la proue et qui disperse ou « refoule en arc-en-ciel » ("rainbowing") la mélange sédiments/eau sur un site choisi.

Les principaux avantages des dragues aspiratrices en marche sont :

- une certaine indépendance vis-à-vis des conditions météorologiques et de l'état de la mer ;
- un fonctionnement autonome ;
- un impact minimal sur la navigation des autres navires (pas de lignes d'ancrage ni de conduites flottantes) ;
- la capacité de transporter les matériaux dragués sur de longues distances ;

- une productivité relativement élevée en fonction de la taille et de la puissance de la DAM ;
- une procédure de mobilisation simple et par conséquent d'un coût raisonnable ;
- des besoins limités en équipement auxiliaire.

Les principaux inconvénients sont :

- l'incapacité de draguer des matériaux durs ou trop plastiques;
- l'impossibilité de travailler dans des zones confinées ;
- la sensibilité à la présence de débris (roche, métal, ...);

La drague aspiratrice en marche est un engin de dragage très flexible avec peu d'inconvénients et beaucoup de domaines d'application. Puisque le dragage est fait par aspiration et puis pompage de la mixture, les densités des sédiments dragués sont inférieures de celles in situ, mais la dilution manifestée est moins forte que pour la DAS.

Dans la cadre de notre projet, le recours à une drague aspiratrice en marche pourrait s'avérer avantageux pour les zones où les manœuvres sont aisées et pour de longs linéaires à draguer (typiquement pour le chenal d'entrée et pour les grands linéaires du bassin intérieur). En outre, le tirant d'eau d'une DAM (de l'ordre de 6 à 7m pour une DAM de 5 000m<sup>3</sup> chargée) ne lui permet pas de travailler dans de très petits fonds (typiquement une DAM n'est pas adapté au dragage de la darse nord), car elle ne peut creuser devant elle. La DAM présente l'avantage de pouvoir travailler dans des états de mers (typiquement Hs de 1,5m à 2m) bien supérieurs à ceux qui limiteraient l'utilisation d'une DAS ou d'une pelle sur ponton.

Les cadences envisageables dépendent si la surverse est possible ou non.

Dragages avec surverse :

- Sur la base d'un taux de remplissage du puits de la drague de 90% et d'un coefficient de foisonnement (ratio, pour la même masse de sédiment, entre le volume qu'il occupe dans le puits de la drague et en place) de 1,15 : il est peut être défini que 1m<sup>3</sup> de puits de drague permet à chaque cycle de dragage de transporter 0,78m<sup>3</sup> de sable en place. Ainsi une drague ayant un puits de 5 000 m<sup>3</sup> permettra de transporter à chaque rotation l'équivalent d'un volume en place d'environ 3 900 m<sup>3</sup>, dans le cas d'un dragage avec surverse.
- Si l'on estime qu'il faut environ 60 minutes pour remplir le puits de la drague et 60 minutes pour faire l'aller-retour vers le site de clapage (site situé potentiellement entre 5 et 10km du lieu d'extraction, pouvant être atteint à la vitesse de 10 noeuds), où le clapage en lui-même dure 10 minutes, un cycle de dragage (dragage de 3900m<sup>3</sup> de matériaux en place) dure environ 130 minutes.
- A raison de travaux de dragage réalisés 24h/24 et 7j/7, mais en tenant compte des facteurs de réduction suivants : 0,9 pour tenir compte du temps nécessaire aux manœuvres / 0,9 pour tenir compte d'aléas divers (ex panne) / 0,9 pour tenir compte de stand-by météo.

En une semaine environ 220 000m<sup>3</sup> de matériaux en place peuvent être dragués.

Dragage sans surverse :

- Sur la base d'une porosité du sédiment en place d'environ 40%, d'une fraction en volume de sédiment pompé égale à 15% de la mixture eau/sable pompée par le bec de l'élinde et d'un taux de remplissage du puits de la drague de 90%, il peut être retenu que 1m<sup>3</sup> de puits de drague permet à chaque cycle de dragage de transporter 0,22m<sup>3</sup> de sable en place. Ainsi une drague ayant un puits de 5 000 m<sup>3</sup> permettra de transporter à chaque rotation l'équivalent d'un volume en place de 1 125 m<sup>3</sup>, dans le cas d'un dragage sans surverse.
- Si l'on estime qu'il faut environ 20 minutes pour remplir le puits de la drague et 60 minutes pour faire l'aller-retour vers le site de clapage (site situé potentiellement entre 5 et 10km du lieu d'extraction, pouvant être atteint à la vitesse de 10 noeuds), où le clapage en lui-même dure 10 minutes, un cycle de dragage (dragage de 1 125m<sup>3</sup> de matériaux en place) dure 90 minutes.
- A raison de travaux de dragage réalisés 24h/24 et 7j/7, mais en tenant compte des facteurs de réduction suivants : 0,9 pour tenir compte du temps nécessaire aux manœuvres / 0,9 pour tenir compte d'aléas divers (ex panne) / 0,9 pour tenir compte de stand-by météo

En une semaine environ 90 000m<sup>3</sup> de matériaux en place peuvent être dragués.

Avec des taux de fines inférieurs à 10% à 20% dans la majeure partie des sédiments à draguer, il est fait l'hypothèse que la DAM puisse travailler par surverse.

## 6.5. REPARTITION DES ZONES A DRAGUER EN FONCTION DES MOYENS NAUTIQUES

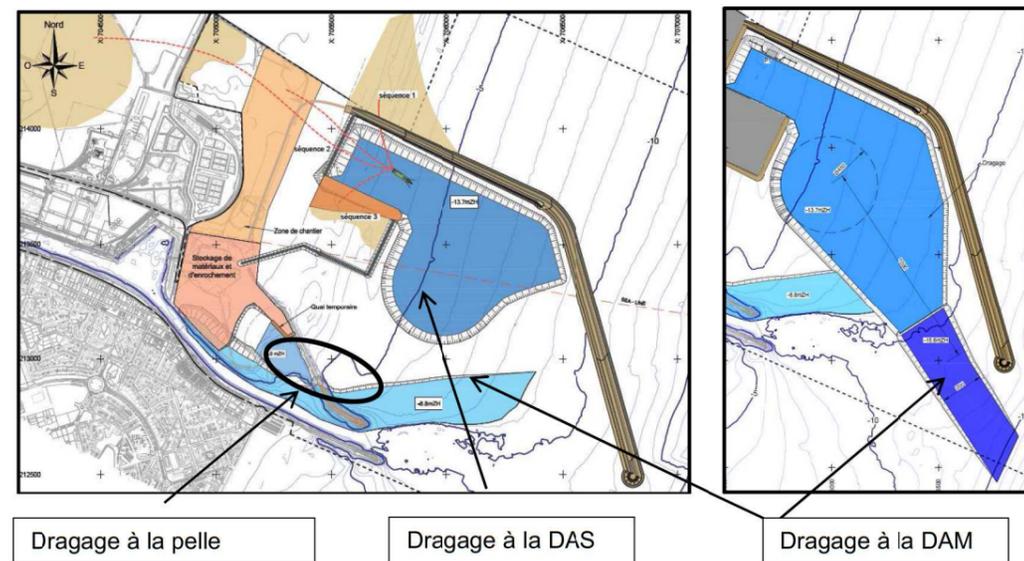
Il a été fait l'hypothèse que 3 millions de matériaux en place pourraient être réutilisés pour recharger la plage au Nord (environ 2 Mm<sup>3</sup>) et pour servir de remblais au terre-plein portuaire (environ 1 Mm<sup>3</sup>).

Ce volume de 3 millions de m<sup>3</sup> correspond approximativement au volume de matériaux en place devant être dragués dans la future darse Nord et dans le bassin intérieur dans des profondeurs allant jusqu'à -7mZH. Pour cette zone à draguer située en faible profondeur et pour laquelle la drague doit progresser du large vers la côte, une DAS sera utilisée. Elle pourra ainsi refouler, via une conduite, la mixture draguée dans les casiers dédiés ou sur la plage.

Environ 7 millions de m<sup>3</sup> seront ensuite dragués à la DAM. Cela correspond au dragage du chenal d'entrée et des chenaux du bassin intérieur qu'il est possible à priori (en terme de manœuvre) de draguer à la DAM.

Le reste des matériaux à draguer pourra être traité à la pelle mécanique, dans des zones où les manœuvres seraient délicates pour une drague de grande taille ou bien pour des zones comportant des matériaux potentiellement rocheux ne pouvant être dragués à la drague hydraulique (par exemple la zone de la digue nord démolie).

La figure suivante permet de visualiser les principales hypothèses qui ont été faites à ce stade concernant les moyens de dragages utilisables (DAM, DAS ou pelle) pour les différentes zones du port :



Répartition préliminaire des zones pouvant être draguées à la DAS, à la DAM ou à la pelle

## 7. SYNTHÈSE

Le schéma présenté Figure 14 résume les différentes voies retenues pour la valorisation et devenir des sédiments à draguer dans le cadre du projet. Dans ce schéma nous considérons que le clapage provisoire devra prévoir la mise en dépôt des sédiments non utilisés dans une filière de valorisation en mer, un volume plus important sera toutefois envisagé pour pallier à des difficultés de coordination du planning des travaux.

Pour certaines voies, des tests supplémentaires pourront être nécessaires pour une meilleure définition du projet. Pour les sédiments considérés comme pollués, des tests d'écotoxicologie et ou des tests de lixiviation pourront être nécessaires sur les sédiments présentant un seuil de contamination supérieur à N2 (carottes SC35 en particulier).

En fonction des résultats des différents tests, des demandes d'autorisation auprès des services de l'état concernés pourront être faites afin de pouvoir valoriser ou déposer en clapage provisoire des sédiments faiblement contaminés et ne présentant pas de caractère dangereux. De même, pour les sédiments contaminés (seuil supérieur à N1 et N2, selon les résultats), une demande spécifique pourra être déposée pour une mise en clapage définitif.

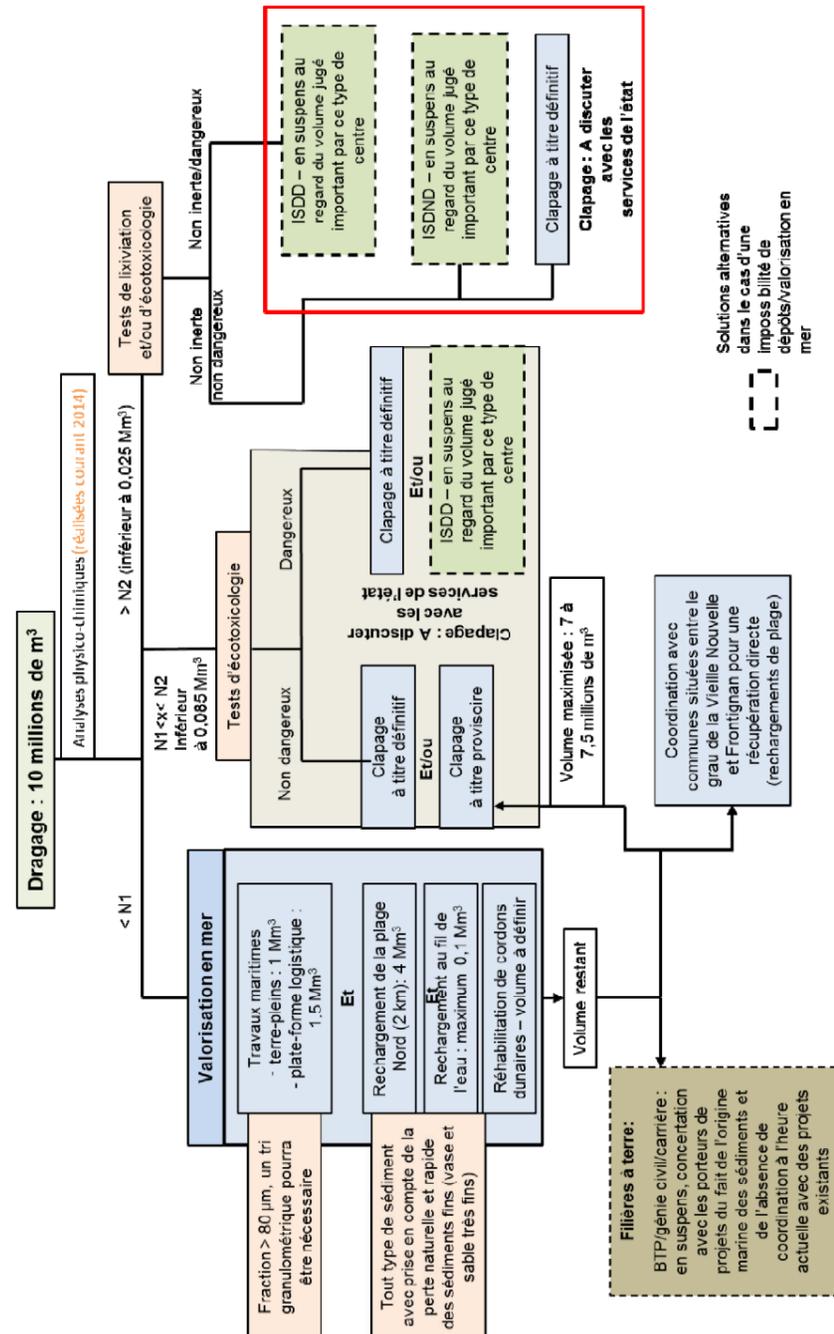


Figure 14. Schéma de synthèse du devenir des sédiments dragués

## 8. REFERENCES

ARTELIA, CREOCEAN, GAXIEU, 2013. Rapport relatif aux conditions hydro-sédimentaires sur site. Rapport n°8 713239 - HYDRO - R01 - V1

ARTELIA, CREOCEAN, GAXIEU, 2013 – Etude préliminaire pour la gestion durable des déblais de dragage du port de port-La Nouvelle - Phase 1 : Etude bibliographique - RAPPORT N°8713239-EP-DRA-R002 ».

ARTELIA, CREOCEAN, GAXIEU, 2013 – Prise en compte du changement climatique dans les impacts sur le littoral et les fonds marins de l'extension portuaire. Projet de méthodologie. Rapport : PLN 2015\_Note impact changement climatique.

ARTELIA, CREOCEAN, GAXIEU, 2014 – Dépôt en mer des déblais de dragage – note de cadrage. Rapport n°8713239 – ENV-NCC-R001.

ARTELIA, CREOCEAN, GAXIEU, 2014 – Etudes environnementales : analyse de l'état initial du site et de son environnement. Rapport n°est 871323 9-AVP-DRA-R2 Version 1.

CERTAIN et al., 2008. Etude de faisabilité par modélisation numérique et canal à sédiment de rechargements sédimentaires sableux d'avant-cote en milieu microtidal, une nouvelle méthode de lutte contre l'érosion côtière. X<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis

CHASSE C. et GLEMAREC M avec le concours du CNEXO, 1976 – Atlas du littoral français – Atlas des fonds meubles su plateau continental du Golfe de Gascogne – cartes biosédimentaires. Mis en ligne sur le site REBENT.

DREAL NPDC Nord-Pas de Calais 2011. Journées Nationales sur les sédiments. Contexte réglementaire relatif à la gestion terrestre des sédiments de dragage en France. Nathalie Desruelles, DREAL NPDC. 8 et 9 Juin 2011. Lille

GINGER, 2014 – Agrandissement du port de Port-La Nouvelle – Synthèse des investigations géotechniques – rapport intermédiaire. Dossier CMO2.B.228-2

IBOUILY G. (1981). Etude sédimentologique de la rade de Marseille (Bouches de Rhône). Thèse de spécialité Université de Provence 130pp.

IDRA – 2012. Dossier de déclaration pour les travaux de pose de tétrapodes en renforcement de la digue Sud. Rapport n°S 100901a.

## 9. ANNEXE

### 9.1. RESULTATS DETAILLÉS DES ANALYSES PAR GRANULOMETRIE LASER – CAMPAGNE GEOTECHNIQUE

Station	Epaisseur prélevée (m)	D50 (médiane) (µm)	% < 2 µm argiles	% 2-63 µm vases	% 63-125 µm sable très fin	% 125-250 µm sable fin	% 250-500 µm sable moyen	% 500-2000 µm sable grossier	% 200-250 µm	Type de sédiments	% fraction fine *
SC27-1	0,0	19,14	0,06	69,69	18,57	7,60	0,00	0,00	0,00	Vase	76,25
SC27-2	0,0	40,737	0,00	66,61	28,72	1,26	0,00	0,00	0,00	Vase	61,82
SC27-3	0,0	201,325	0,00	1,00	19,92	80,00	0,00	0,00	0,00	sf à sm	1,00
SC27-4	0,0	206,429	0,00	0,00	13,20	69,00	17,80	0,00	0,00	sf à sm	13,20
SC27-5	0,0	207,432	0,00	0,00	13,13	69,00	17,87	0,00	0,00	sf à sm	13,13
SC27-6	0,0	173,246	0,00	1,60	22,00	60,00	16,40	0,00	0,00	sf	16,40
SC27-7	0,0	175,823	0,00	1,34	23,00	63,00	12,66	0,00	0,00	sf	12,66
SC27-8	0,0	158,102	0,00	0,00	31,40	63,00	6,60	0,00	0,00	sf à sf	31,40
SC27-9	0,0	163,815	0,00	0,00	29,10	63,00	8,90	0,00	0,00	sf	8,90
SC27-10	0,0	164,439	0,00	0,00	22,60	63,00	14,40	0,00	0,00	sf	14,40
SC27-11	0,0	170,358	0,00	1,39	21,83	69,62	8,16	0,00	0,00	sf	8,16
SC27-12	0,0	171,565	0,00	3,63	21,66	69,00	9,30	0,00	0,00	sf	9,30
SC27-13	0,0	163,336	0,00	3,73	30,00	60,00	7,27	0,00	0,00	sf à sf	7,27
SC27-14	0,0	167,723	0,00	0,00	33,00	63,00	4,40	0,00	0,00	sf à sf	33,00
SC27-15	0,0	164,405	0,00	0,00	33,66	69,60	6,20	0,00	0,00	sf à sf	33,66
SC27-16	0,0	162,837	0,00	1,10	31,96	61,36	6,58	0,00	0,00	sf à sf	31,96
SC27-17	0,0	170,354	0,00	0,14	28,10	69,13	8,73	0,00	0,00	sf à sf	28,10
SC27-18	0,0	154,872	0,00	0,66	39,80	61,69	1,60	0,00	0,00	sf à sf	39,80
SC27-19	0,0	156,055	0,00	1,73	32,63	63,93	3,63	0,00	0,00	sf à sf	32,63
SC27-20	0,0	304,946	0,00	0,04	33,20	38,90	38,86	19,60	0,00	sf à sm	33,20
SC27-21	0,0	181,907	0,00	0,62	21,39	61,66	13,33	0,00	0,00	sf	13,33
SC27-22	0,0	164,448	0,00	1,11	30,96	60,00	8,93	0,00	0,00	sf à sf	30,96
SC27-23	0,0	169,894	0,00	0,92	21,95	60,00	17,13	0,00	0,00	sf à sf	21,95
SC27-24	0,0	153,382	0,00	0,30	39,69	60,39	8,10	0,00	0,00	sf à sf	39,69
SC27-25	0,0	156,368	0,00	0,62	33,69	63,30	3,90	0,00	0,00	sf à sf	33,69
SC27-26	0,0	161,995	0,00	0,35	31,46	63,20	3,69	0,00	0,00	sf à sf	31,46

Tableau 19. Caractérisation granulométrique des prélèvements par benne – campagne géotechnique 2014 - \* : Fraction inférieure à 63 µm, code couleur d'après Ibouly, 1981: Classification d'après pourcentage respectif des différentes fractions, code couleur sédimentologique

Nom Profondeur d'eau	Station	Profondeur par rapport au fond (m)	D50 (médiane) µm	Fraction par classe granulométrique						Type de sédiments**	% fraction fine *	%200-250 µm
				% < 2 µm argiles	% 2-63 µm vases	% 63-125 µm sable très fin	% 125-250 µm sable fin	% 250-500 µm sable moyen	% 500-2000 µm sable grossier			
SC27 - 4 m	1	-0 / -0,8	209,341	0	3,39	9,98	68,08	18,55	0	sf - sm	3,39	16,87
	2	-1,2 / -2	216,92	0	3,63	10,51	61,39	24,33	0,14	sf - sm	3,63	24,67
	3	-2,4 / -3,2	204,58	0,17	9,48	16,13	47,86	25,13	1,23	sf - sm	9,65	16,44
	4	-3,6 / -4,4	202,45	0,09	3,85	12,42	66,97	16,65	0,02	sf - sm	3,94	15,2
	5	-4,8 / -5,6	175,43	0,09	4,31	26,71	56,1	10,96	1,83	sf	4,40	16,87
	6	-6 / -6,8	174,071	0,36	8,83	23,58	55,12	12,11	0	sf	9,19	20,29
	7	-7,2 / -8	168,544	0,11	4,62	29,8	55,21	10,26	0	sf	4,73	19,17
	8	-8,4 / -9,2	181,065	0,01	3,85	22,68	61,96	11,5	0	sf	3,86	15,16
	9	-9,6 / -10,4	153,381	2,36	20,41	22,55	38,59	11,11	4,98	sf à sf m.e	22,77	13,34
	10	-10,8 / -11,6	167,691	0,08	5,6	27,98	58,6	7,74	0	sf	5,68	12,27
	11	-12,2 / -13	130,862	1,91	22,64	30,43	38,38	6,64	0	sf à sf m.e	24,55	11,87
SC28 - 6 m	1	-0 / -0,8	133,558	1,58	18,17	34,15	38,89	7,21	0	sf à sf p.e	19,75	11,88
	2	-1 / -1,8	127,45	2,7	24,81	28,64	36,88	6,93	0,04	sf à sf m.e	27,51	11,52
	3	-2 / -2,8	165,816	0,28	6,6	28,94	55,11	9,07	0	sf	6,88	17,49
	4	-3 / -3,8	123,419	2,22	20,81	35,98	35,61	5,38	0	sf à sf m.e	23,03	10,48
	5	-4,2 / -5	141,401	1,6	14,3	34,17	42,9	7	0,03	sf à sf p.e	15,90	13,12
	6	-5,4 / -6,2	161,921	0,25	5,34	31,21	56,85	6,34	0,01	sf	5,59	17,34
	7	-6,6 / -7,4	135,938	1,7	19,55	31,55	40,38	6,82	0	sf à sf m.e	21,25	12,4
	8	-7,8 / -8,6	156,909	0,79	7,89	31,52	54,3	5,5	0	sf	8,68	16,32
	9	-9 / -9,8	161,399	0,19	5,79	31,15	56,83	6,04	0	sf	5,98	17,32
	10	-10,2 / -10,9	148,055	0,81	8,6	36,7	48,13	5,76	0	sf à sf	9,41	14,24
SC29 - 6 m	1	0 / -0,8	147,553	0,85	16,33	30,33	36,72	8,97	6,3	sf à sf p.e	17,18	11,53
	2	-1 / -1,8	159,897	0,93	11,83	28,37	47,69	11,14	0,04	sf à sf p.e	12,76	15,65
	3	-2,2 / -3	166,088	0,35	10,04	27,49	49,46	12,64	0,02	sf à sf p.e	10,39	16,23
	4	-3,4 / -4,2	148,614	0,96	9,52	35,4	47,72	6,35	0,05	sf à sf p.e	10,48	14,35
	5	-4,6 / -5,4	158,314	0,19	6,68	33,69	49,48	9,88	0,08	sf à sf	6,87	15,22
	6	-5,8 / -6,6	165,751	0	0,21	33,29	59,37	7,13	0	sf	0,21	17,9
	7	-7 / -7,4	177,345	0	3,34	24,02	63,08	9,56	0	sf	3,34	20,6
	8	-8,2 / -9	150,023	0	1,58	43,04	49,06	6,32	0	sf à sf	1,58	14,17
	9	-9,4 / -10,2	141,107	1,19	14,92	34,13	42,84	6,9	0,02	sf à sf p.e	16,11	13,02
	10	-10,6 / -11,4	144,781	1,6	16,89	29,95	42,88	8,66	0,02	sf à sf p.e	18,49	13,45
SC30 - 8 m	1	0 / -0,8	127,12	1,4	17,77	38,31	37,07	5,4	0,05	sf à sf p.e	19,17	10,83
	2	-1,2 / -2	176,455	0,19	7,78	24,12	54,33	13,58	0	sf	7,97	18,28
	3	-2,6 / -3,4	168,614	0,79	12,22	24,49	48,49	10,11	3,9	sf à sf p.e	13,01	16,27
	4	-4 / -4,8	177,909	0,19	4,95	23,81	59,75	11,3	0	sf	5,14	19,88
	5	-5,4 / -6,2	151,646	3,42	19,14	23,57	39,48	14,39	0	sf à sf m.e	22,56	13,13
	6	-6,8 / -7,6	137,876	1,48	14,91	35,59	41,9	6,12	0	sf à sf p.e	16,39	12,58
	7	-8,2 / -9	167,368	1,84	14,06	24,82	38,21	20,95	0,12	sf à sf p.e	15,90	12,78



**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés											Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 28										arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X ≤ N1	N1 < X ≤ N2
densité	/	1,39	1,35	1,42	1,35	1,28	1,19	1,29	1,21	1,11	1,3	REPOM (2009)	
matière sèche	% p brut	81,8	82,5	80,5	81,5	81,3	80,2	80,2	79,4	80,8	78,9	X ≤ N1	
Aluminium	mg/kg sec	5241	5176	5831	5274	4893	4897	5103	4799	4834	5302	N1 < X ≤ N2	
COI	g/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	X > N2	
Phosphore total	mg/kg sec	346	380									N1	N2
Azote total	% p sec	0,02	0,01										
Indice pollution organique		0	0										
Arsenic	mg/kg sec	12,4	9,7	11,9	11,1	12	11,3	12,2	10,9	10,9	11,2	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	12,4	13,8	14	12,1	12,5	14,4	12,2	15,8	12	12,2	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<11,3	<10,3	<10,8	<10,5	<10,9	<10,3	<11,1	<10,9	<10,4	<10,2	45	90
Mercurure	mg/kg sec	<0,028	<0,026	<0,027	<0,026	<0,027	<0,026	<0,028	<0,027	<0,026	<0,026	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	13	12,8	13	12,7	12,5	12,4	12,8	12,5	12,5	12,7	37	74
Plomb	mg/kg sec	10,1	9,7	9,2	36,9	9,2	11,9	7,8	6,5	6,8	<5,1	100	200
Zinc	mg/kg sec	29,9	26,7	29,2	30,1	23,9	23,2	25,5	22,9	22,9	21,9	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phenanthrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés											Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 29										arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X ≤ N1	N1 < X ≤ N2
densité	/	1,37	1,51	1,3	1,34	1,36	1,16	1,31	1,16	1,14	1,58	REPOM (2009)	
matière sèche	% p brut	79,4	80,5	78,6	80,3	79,4	79,5	79,4	79,7	79,7	78,9	X ≤ N1	
Aluminium	mg/kg sec	8184	6168	5519	6274	5422	5215	4833	5538	5583	5778	N1 < X ≤ N2	
COI	g/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	X > N2	
Phosphore total	mg/kg sec	<260,65	357									N1	N2
Azote total	% p sec	<0,01	<0,01										
Indice pollution organique		0	0										
Arsenic	mg/kg sec	10,9	9,3	10	9,3	9,7	10,2	7,2	9,3	7,8	7,4	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	15,6	13	12,1	14,4	11,8	11,2	10,3	12,4	13,6	16,3	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<10,4	<10,4	<10,5	<10,3	<10,2	<10,2	<10,3	<10,4	<10,4	<10,5	45	90
Mercurure	mg/kg sec	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	14,1	11,4	11	12,9	11,8	10,7	9,3	11,9	12	10,5	37	74
Plomb	mg/kg sec	8,9	5,7	9,5	10,3	5,6	<5,1	<5,1	5,7	5,7	<5,3	100	200
Zinc	mg/kg sec	30,8	22,8	25,2	22,6	27,6	19,4	18	20,7	21,9	20	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	14	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	27	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phenanthrène	µg/kg sec	13	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	22	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés								Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 30							arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7		
densité	/	1,41	1,37	1,27	1,3	1,32	1,39	1,5	REPOM (2009)	
matière sèche	% p brut	78,7	81,3	80,8	80,3	83,9	81,1	79,5	X ≤ N1	
Aluminium	mg/kg sec	7800	6947	6176	6171	8560	5629	6473	N1 < X ≤ N2	
COI	g/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	X > N2	
Phosphore total	mg/kg sec	<274,65	304							
Azote total	% p sec	0,03	0,01							
Indice pollution organique		0	0						N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	9,9	12	10,2	12,7	13,5	11,8	11,6	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	14,8	14,6	12,9	13,8	17,6	13,4	13,7	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<11	<10,4	<10,7	<11	<10,4	<10,7	<10,5	45	90
Mercure	mg/kg sec	<0,027	<0,026	<0,027	<0,028	<0,026	<0,027	<0,026	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	14,3	13,6	12,4	12,7	15	13,4	13,2	37	74
Plomb	mg/kg sec	11	8,9	9,7	9,9	15,6	7	6,8	100	200
Zinc	mg/kg sec	39,5	35	32,2	30,9	35,8	28,9	30	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phénanthrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés											Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 31										arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
densité	/	1,34	1,26	1,13	1,17	1,15	1,19	1,36	1,29	1,22	1,31	REPOM (2009)	
matière sèche	% p brut	80,4	82,7	81,7	80,7	83,8	82,3	79,9	82,2	84,4	82,6	X ≤ N1	
Aluminium	mg/kg sec	5448	5507	6638	5051	5159	5346	5263	5048	5137	4804	N1 < X ≤ N2	
COI	g/kg	<5	<5	<5	5,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	X > N2	
Phosphore total	mg/kg sec	303	333										
Azote total	% p sec	0,015	0,013										
Indice pollution organique		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	7,8	7,9	8,9	7,7	10,6	8,1	9,3	8,4	8,7	9,9	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	11,9	12,1	13,6	10,2	12,6	11,2	13,9	12,1	11,8	11,5	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<10,4	<10,5	<10,5	<10,2	<10,1	<10,2	<10,3	<10,5	<10,3	<10,4	45	90
Mercure	mg/kg sec	0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,025	<0,025	0,031	<0,026	<0,026	<0,026	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	10,9	11	12,5	10,2	13,2	11,2	13,4	11	11,8	12	37	74
Plomb	mg/kg sec	6,2	7,3	8,9	9,7	5,1	<5,1	6,7	<5,3	<5,1	<5,2	100	200
Zinc	mg/kg sec	32,7	25,2	29,8	22,4	25,3	22,9	28,4	21,6	25,2	21,4	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phénanthrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés								Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 32							arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7	REPOM (2009)	
densité	/	1,37	1,32	1,3	1,38	1,28	1,31	1,35	X ≤ N1	
matière sèche	% p brut	79,6	81,6	80,4	80,6	80,1	82,1	79,7	N1 < X ≤ N2	
Aluminium	mg/kg sec	6583	5842	5575	4874	5124	5234	4605	X > N2	
COI	g/kg	<5	<5	<5	<5	7,1	<5	<5		
Azote total	mg/kg sec	0,02	0,01							
Phosphore total	% p sec	302	297							
Indice pollution organique		0	0							
									N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	10,4	12,7	12	10,9	11,4	9,5	10,2	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	13,2	12,7	13	11,9	12	12,7	11,8	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<11	<10,6	<10,4	<10,4	<10,9	<10,6	<10,7	45	90
Mercuré	mg/kg sec	<0,027	<0,027	<0,026	<0,026	<0,027	<0,026	<0,027	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	12,6	11,7	12	11,4	13,1	12,7	11,8	37	74
Plomb	mg/kg sec	7,7	8	9,9	8,8	7,1	8,5	6,4	100	200
Zinc	mg/kg sec	34,6	31,9	32,3	31,1	27,8	30,1	27,3	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyréne	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyréne	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphthalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phenanthrène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyréne	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés								Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 33						arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014		
		1	2	3	4	5	6	REPOM (2009)		
densité	/	1,34	1,32	1,36	1,34	1,29	1,27	X ≤ N1		
matière sèche	% p brut	80,9	80,5	80,3	80,1	80,6	80,6	N1 < X ≤ N2		
Aluminium	mg/kg sec	5803	7333	6696	7465	8579	6426	X > N2		
COI	g/kg	<5	7,1	5,3	<5	<5	<5			
Phosphore total	mg/kg sec	<256,75	<256,4							
Azote total	% p sec	0,017	0,02							
Indice pollution organique		0	0							
									N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	12,3	11,8	10,1	10,2	14	10,3	25	50	
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4	
Chrome	mg/kg sec	12,3	13,8	13,7	13,8	17,1	13,9	90	180	
Cuivre	mg/kg sec	<10,3	<10,3	<10,1	<10,2	<10,3	<10,3	45	90	
Mercuré	mg/kg sec	<0,026	<0,026	<0,025	0,026	0,031	<0,026	0,4	0,8	
Nickel	mg/kg sec	11,3	11,3	10,1	12,3	15	10,8	37	74	
Plomb	mg/kg sec	8,2	8,2	6,6	10,7	7,8	5,7	100	200	
Zinc	mg/kg sec	31,3	32,8	23,8	28,1	31	23,1	276	552	
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10	
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10	
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20	
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20	
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40	
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40	
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20	
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000	
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260	
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340	
Anthracène	µg/kg sec	11	14	<10	<10	<10	<10	85	590	
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	31	41	<10	<10	<10	<10	260	930	
Benzo(a)Pyréne	µg/kg sec	29	41	<10	<10	<10	<10	430	1015	
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	34	48	<10	<10	<10	<10	400	900	
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	21	25	<10	<10	<10	<10	1700	5650	
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	12	16	<10	<10	<10	<10	200	400	
Chrysène	µg/kg sec	40	51	<10	<10	<10	<10	380	1590	
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160	
Fluoranthène	µg/kg sec	64	75	<10	<10	<10	<10	600	2850	
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280	
Indéno(123-cd)Pyréne	µg/kg sec	28	37	<10	<10	<10	<10	1700	5650	
Naphthalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130	
Phenanthrène	µg/kg sec	60	52	<10	<10	<10	<10	240	870	
Pyréne	µg/kg sec	63	70	<10	<10	<10	<10	500	1500	
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100			
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100			
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400	

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés						Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 34					arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	REPOM (2009)	
densité	/	1,35	1,55	1,4	1,48	1,35	X ≤ N1	
matière sèche	% p brut	79	78,1	79,3	80,3	78,9	N1 < X ≤ N2	
Aluminium	mg/kg sec	5634	6501	6178	6174	8085	X > N2	
COT	g/kg	8,4	7,8	5,4	<5	5,4		
Phosphore total	mg/kg sec	442	296					
Azote total	% p sec	0,02	0,02					
Indice pollution organique		0	0					
Arsenic	mg/kg sec	11,8	12,7	12	12,5	14,8	N1	N2
Cadmium	mg/kg sec	<0,6	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	25	50
Chrome	mg/kg sec	14,1	14,3	14,2	13	15,8	1,2	2,4
Cuivre	mg/kg sec	<11,3	<11	<10,9	<10,4	<10,9	90	180
Mercure	mg/kg sec	<0,028	<0,028	0,044	<0,026	0,033	45	90
Nickel	mg/kg sec	13	13,2	13,7	13,5	15,8	0,4	0,8
Plomb	mg/kg sec	9	10,5	11,5	9,9	14,2	37	74
Zinc	mg/kg sec	41,1	40,8	37,7	28,5	34,4	100	200
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	276	552
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Acénaphthène	µg/kg sec	27	<10	<10	<10	<10	500	1000
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Anthracène	µg/kg sec	113	<10	<10	<10	<10	40	340
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	300	14	15	<10	<10	85	590
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	276	13	15	<10	<10	260	930
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	308	19	18	<10	<10	430	1015
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	160	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	128	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Chrysène	µg/kg sec	401	<10	<10	<10	<10	200	400
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Fluoranthène	µg/kg sec	645	30	25	<10	<10	60	160
Fluorène	µg/kg sec	26	<10	<10	<10	<10	600	2850
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	251	<10	<10	<10	<10	20	280
Naphtalène	µg/kg sec	33	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Phenanthrène	µg/kg sec	564	30	26	<10	10	160	1130
Pyrène	µg/kg sec	500	22	21	<10	<10	240	870
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	500	1500
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés									Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 35								arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7	8	REPOM (2009)	
densité	/	1,24	1,26	1,69	1,36	1,33	1,2	1,19	1,14	X ≤ N1	
matière sèche	% p brut	78,2	79,1	65,6	76,5	80,3	78,9	79,1	80,3	N1 < X ≤ N2	
Aluminium	mg/kg sec	10153	8544	11783	7310	6635	6481	7244	7512	X > N2	
COT	g/kg	7,5	7,3	37	9,6	<5	<5	<5	<5		
Phosphore total	mg/kg sec	<255,1	269								
Azote total	% p sec	0,016	0,019								
Indice pollution organique		0	0							N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	17,3	18,5	19	13,8	11,6	12,8	12,7	12,3	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	20,9	19	27,2	19,4	14,7	13,3	14,7	15,8	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<10,2	<10,3	<10,2	<10,2	<10,1	<10,2	<10,1	<10,2	45	90
Mercure	mg/kg sec	<0,026	<0,026	0,031	0,026	<0,025	<0,026	<0,025	<0,026	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	15,8	17	20	13,8	13,2	13,3	14,7	14,3	37	74
Plomb	mg/kg sec	10,7	12,4	17,4	11,8	7,6	7,1	<5,1	<5,1	100	200
Zinc	mg/kg sec	53,6	53	73,8	36,8	26,3	28,6	28,9	29,6	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	235	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	34	336	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	22	110	974	29	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	20	95	916	27	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	26	39	1010	29	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	13	48	564	15	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	11	39	385	10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	27	140	1312	39	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	25	299	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	43	227	1822	53	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	210	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	18	86	869	22	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	<10	<10	161	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phenanthrène	µg/kg sec	32	198	1669	45	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	40	198	1852	51	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
TBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés								Niveaux de référence		
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 36							arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014	
		1	2	3	4	5	6	7		
densité	/	1,32	1,07	1,65	1,19	1,18	1,09	1,05	REPOM (2009)	
matière sèche	% p brut	41,1	78,1	75,8	78,6	77,8	81	78	X ≤ N1	
Aluminium	mg/kg sec	20082	5090	1325	5888	6153	6790	6605	N1 < X ≤ N2	
COI	g/kg	43,6	<5	8,1	<5	<5	<5	<5	X > N2	
Phosphore total	mg/kg sec	438	<259,7	322	270	537	334	298		
Azote total	% p sec	0,31	0,022	0,04	0,017	0,025	0,021	0,019		
Indice pollution organique		6	0	1	0	1	0	0	N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	19,3	13	13,5	10	10,9	12,3	9,8	25	50
Cadmium	mg/kg sec	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	32,5	11,9	17,1	13,7	18,6	14,4	15	90	180
Cuivre	mg/kg sec	44,2	<10,4	<10,4	<10,5	<10,3	<10,3	<10,3	45	90
Mercure	mg/kg sec	0,137	<0,026	0,031	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	30,5	12,5	16,1	14,7	14,5	15,4	17	37	74
Plomb	mg/kg sec	34,1	6,8	8,8	<5,3	<5,2	<5,1	<5,2	100	200
Zinc	mg/kg sec	99,6	30,6	43,6	30	30	32,9	36,6	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	96	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	108	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	207	<10	19	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	63	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	40	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	137	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	155	<10	11	<10	<10	12	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	107	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phenanthrène	µg/kg sec	139	<10	14	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	148	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
IBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400

**MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT**  
ÉTUDE POUR LA GESTION DURABLE DES DEBLAIS DE DRAGAGE DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

Campagne géotechnique 2014 - Prélèvements de sédiments par sondages carottés											Niveaux de référence			
n° tranche/échantillon dans la carotte	unité	carotte SC 37										arrêté 06/06/2006 23/12/2009 08/02/2013 17/07/2014		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			11
densité	/	1,22	1,25	1,31	1,28	1,27	1,33	1,35	1,2	1,38	1,35	1,33	REPOM (2009)	
matière sèche	% p brut	80,9	79,9	81,1	79,5	80,2	80,2	79,8	76,2	78,4	77,5	79,7	X ≤ N1	
Aluminium	mg/kg sec	5956	4779	4250	4923	6728	4017	6206	7421	6096	6084	5477	N1 < X ≤ N2	
COI	g/kg	5,9	<5	<5	<5	<5	7,6	<5	5,7	<5	<5	<5	X > N2	
Phosphore total	mg/kg sec	<254,55	<251,55											
Azote total	% p sec	<0,01	<0,01											
Indice pollution organique		0	0										N1	N2
Arsenic	mg/kg sec	12,7	8,6	8,2	8,8	13,2	7,6	11,2	15,8	8,6	7,7	7,6	25	50
Cadmium	mg/kg sec	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	2,4
Chrome	mg/kg sec	12,2	9,6	9,2	10,9	13,7	13,7	15,8	14,2	12,7	21	11,2	90	180
Cuivre	mg/kg sec	<10,2	<10,1	<10,2	<10,4	<10,1	<10,2	<10,5	<10,2	<10,2	<10,2	<10,1	45	90
Mercure	mg/kg sec	<0,025	<0,025	<0,026	0,026	<0,025	0,061	<0,025	<0,026	<0,025	<0,026	<0,025	0,4	0,8
Nickel	mg/kg sec	9,7	8	7,7	10,9	12,6	9,2	10,7	14,2	13,2	12,8	12,2	37	74
Plomb	mg/kg sec	6,6	5,5	6,1	9,3	<5,1	<5,1	<5,3	<5,3	<5,1	<5,1	<5,1	100	200
Zinc	mg/kg sec	25,5	22,6	25,6	21,2	24,8	15,3	19,3	23,2	21,3	23	20,8	276	552
CB 28	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 52	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	10
CB 101	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 118	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
CB 138	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 153	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	20	40
CB 180	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	20
Somme PCB	µg/kg sec	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	500	1000
Acénaphthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	260
Acénaphthylène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	40	340
Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	85	590
Benzo(a)Anthracène	µg/kg sec	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	260	930
Benzo(a)Pyrène	µg/kg sec	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	430	1015
Benzo(b)Fluoranthène	µg/kg sec	22	<10	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	400	900
Benzo(ghi)Pérylène	µg/kg sec	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Benzo(k)Fluoranthène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	200	400
Chrysène	µg/kg sec	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	380	1590
Dibenzo(ah)Anthracène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	60	160
Fluoranthène	µg/kg sec	32	<10	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	600	2850
Fluorène	µg/kg sec	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	280
Indéno(123-cd)Pyrène	µg/kg sec	15	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1700	5650
Naphtalène	µg/kg sec	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	1130
Phenanthrène	µg/kg sec	22	<10	15	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	240	870
Pyrène	µg/kg sec	33	<10	15	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	500	1500
MBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
DBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100		
IBT	µg/kg sec	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	400





## 9.4. TECHNIQUE DE PRE-TRAITEMENT ET TRAITEMENT

Cette annexe vise à établir une liste non exhaustive des différents procédés de prétraitement et de traitement des sédiments.

Elle fera l'objet d'une caractérisation plus approfondie en fonction des résultats des analyses sur les sédiments et des décisions prises en termes de filières de valorisation ou d'élimination des matériaux.

Les techniques de modification et de conditionnement du sédiment en vue d'une destination dans une filière terrestre sont de deux types (Créocéan, Plan de Gestion pour des matériaux de dragage sur le port de Cannes dans le Var, 2009).

### Le prétraitement

Le prétraitement vise à conditionner le sédiment en vue de son traitement ou utilisation à terre :

- ✚ **Tri granulométrique** : il permet de séparer les sables des fractions fines, sur lesquelles sont préférentiellement fixés les contaminants. Cette séparation permet de diminuer les volumes contaminés à traiter, mais aussi d'envisager une réutilisation du sable extrait. Ce tri peut être réalisé par attrition, par bassin de séparation, par criblage (tamis), par hydrocyclone, par lit fluidisé de séparation, par séparation magnétique ou encore par séparation électrostatique ou électrodynamique ;
- ✚ **Décantation** : Par décanteur lamellaire ou par bassin de décantation. Ce principe est le plus « simple », puisqu'il repose sur les principes de la gravité et de l'insolation. Le site de stockage/déshydratation doit préalablement être aménagé en bassins établis en cascade (généralement au nombre de deux ou trois) communiquant entre eux et en élevant des digues en remblai sur la périphérie des sites de stockage. La mixture est déversée dans la première lagune, puis, par gravité, transite vers les suivantes ;
- ✚ **Déshydratation** : La déshydratation permet de réduire les volumes à traiter par élimination de l'eau interstitielle et de rendre peltable le matériau. La déshydratation peut se faire par centrifugeuse, par filtre à bande et filtre à presse ou encore par géotubes.

### Le traitement

Le traitement consiste à modifier la nature chimique ou physicochimique du sédiment.

**Traitement de l'eau** : Quel que soit la technique de prétraitement envisagée, elle conduit à la séparation des phases solide et liquide des matériaux de dragage. S'il est bien entendu que les matériaux solides sont destinés à être traités ou stockés, il est également nécessaire de s'attacher à la récupération et au traitement des eaux de ressuyage avant de les rejeter dans le milieu aquatique naturel ou au sein des réseaux de collecte.

L'essentiel de la contamination présente dans l'eau des déblais de drague est fixée sur les particules solides en suspension. Les techniques de traitement de l'eau les plus efficaces consistent en la filtration et la décantation forcée de ces particules.

- ✚ La filtration s'effectue sur des sables, des membranes, des supports biologiques (végétaux épurateurs) ;
- ✚ La décantation forcée est réalisée par surverse, en bassin ou en réservoir, dans ces deux derniers cas, l'apport d'agents chimiques moussants facilite la sédimentation ;
- ✚ Les déshuileurs – débourbeurs, qui équipent les aires de carénage remplissent également cette fonction de traitement des eaux et donnent des résultats satisfaisants, si tant est que les apports en eaux à traiter n'excèdent pas les capacités de l'installation.

**Traitement des sédiments** : La liste suivante n'est pas exhaustive. Elle reprend les grandes familles de traitement et les illustre de quelques techniques régulièrement utilisées.

- ✚ **Traitement biologique** : Les traitements biologiques consistent à utiliser la capacité de certains micro-organismes à dégrader les substances organiques et les polluants (HAP, dérivés chlorés, hydrocarbures). Ces méthodes peuvent être mises en œuvre in situ ou ex situ par épandage sur sol ou en bioréacteur. Leur efficacité n'a pas encore été prouvée aujourd'hui. Ce traitement peut se faire par bioréacteur, par épandage ou par phytoremédiation. Les traitements biologiques ont pour principal avantage de faire appel à des procédés naturels. Néanmoins, ils ne permettent de traiter que les contaminants organiques ;
- ✚ **Traitement physico-chimique**. Ce type de traitement s'appuie sur des interactions physico-chimiques (absorption/désorption, oxydation/réduction...) pour extraire, détruire ou immobiliser les contaminants. Comme techniques d'extraction il existe le lessivage, le traitement par complexant ou d'acide, la flottation ou encore l'électromigration. L'oxydation réduction se base sur l'apport en grande quantité d'un agent très oxydant (ozone, eau oxygénée...) puis réducteur (dioxyde de soufre, métaux...). Il est également nécessaire de traiter les solutions issues des lavages ;
- ✚ **Traitement thermique**. Ces techniques traitent les sédiments contaminés en les soumettant à des températures de l'ordre de 500 à 1 200 °C pendant quelques dizaines de minutes.

L'objectif est de fixer les contaminants dans la matière afin qu'ils ne soient plus mobiles. De la même manière que pour les traitements physico-chimiques, chaque technique permet d'éliminer un ou plusieurs contaminants. Des exemples de traitements thermiques sont : la désorption thermique, l'incinération, la vitrification, l'oxydation en phase humide, l'immobilisation ou encore la stabilisation à la chaux.

Les traitements thermiques sont généralement efficaces, mais coûteux (forte consommation d'énergie) et d'un faible rendement. La plupart de ces techniques permettent une réutilisation des produits résiduels comme matériaux de construction (briques, graviers, fibre de verre, etc).