

Sédiments de Dragage

Version de 2013

1	Définition	1
2	Lois, normes, guides	1
3	Origine, élaboration, stockage	4
4	Caractéristiques physico-chimiques	8
5	Caractéristiques géotechnique et mécanique	12
6	Caractéristiques environnementales	13
7	Aspects sanitaires	17
8	Usages (Types d'infrastructures ; Retours d'expérience)	18
9	Références bibliographiques	22
10	Auteurs et relecteurs	25

1 Définition

L'appellation « sédiments ou boues de curage » correspond aux boues formées par sédimentation dans les cours d'eau, les plans d'eau, les canaux, les barrages et les ports fluviaux et maritimes. L'opération de dragage de ces ouvrages est le plus souvent nécessaire afin de rétablir un tirant d'eau pour la navigation ou pour prévenir les risques d'inondation.

Selon la note juridique du 18 septembre 2002, « les sédiments sont des « sous-produits » d'une activité (le dragage) qui vise à établir un libre écoulement et non pas à exploiter un matériau particulier en vue de son utilisation. Ils ne sont pas la finalité même de l'opération de dragage et sont généralement destinés à l'abandon. Pour ces raisons, les sédiments sont, dans de nombreux cas, considérés comme des déchets ».

Les sédiments de dragage sont des sables, des limons et des argiles (hors déchets ajoutés par l'homme). Les sédiments sont principalement sableux en entrée de port et davantage limoneux et argileux en fond de darse. Les sédiments de canaux sont généralement de faible granulométrie (**INERIS, 2008**).

Les sédiments de dragage doivent être distingués des graves et cailloux extraits des lits des rivières comme matériaux, dans le cadre du Code Minier (Circulaire du 4 juillet 2008).

2 Lois, normes, guides

2.1 Législation - Réglementation

Au niveau international :

La **Convention OSPAR** (convention de mer régionale sur la zone Atlantique Nord-Est, 1992), le **protocole de Londres** (1996) et la **Convention de Barcelone** (convention de mer régionale sur la zone Méditerranéenne, 1995), organisent les immersions selon le principe général commun d'interdiction d'immersion de toute substance. A l'issue de la Convention OSPAR, la France a défini les seuils N1 et N2 de concentrations des contaminants, sur lesquels doivent s'appuyer les modalités des opérations d'immersion.

Au niveau communautaire

- Selon la **Directive Cadre sur les déchets N°2008/98/CE du 19 novembre 2008**, les «sédiments déplacés au sein des eaux de surface aux fins de gestion des eaux et des voies d'eau, de prévention des inondations, d'atténuation de leurs effets ou de ceux de sécheresse ou de mise en valeur des terres sont exclus du champ d'application de la présente directive, s'il est prouvé que ces sédiments ne sont pas dangereux ». Par effet inverse, les sédiments dangereux sont considérés comme des déchets au sens de cette Directive.

Au niveau national

- Réglementation pour les opérations de dragage

- **Articles L214-1 à L214-3 et R.214-1 du Code de l'environnement** : installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation ou déclaration ; modalités d'application.
- **Articles L122 et R122 du Code de l'Environnement** : étude d'impact pour les travaux, ouvrages et aménagements ; modalités d'application.
- **Articles R555-12 et R122-6 du Code de l'Environnement** : autorité administrative compétente en matière d'environnement chargée d'instruire les dossiers.
- **Article R123-1 du Code de l'Environnement** : projets soumis à enquête publique.
- **Articles L414-4 à L414-11 du Code de l'Environnement** : « évaluation des incidences Natura 2000 ».
- **Arrêté du 14 juin 2000** relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.
- **Circulaire N°2000-62 du 14 juin 2000** relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par arrêté interministériel.
- **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 canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret N°93-743 du 29 mars 1993.
- **Arrêté du 23 décembre 2009** complétant l'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 canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R.214-1 du Code de l'Environnement. Les niveaux N1 et N2 pour le TBT sont ajoutés.

- Réglementation pour les sédiments extraits

- **Note juridique du 18 septembre 2002** : dans de nombreux cas, les sédiments extraits des cours d'eau sont considérés comme des déchets.
- **Annexe II de l'article R.541-8 du Code de l'Environnement** : les sédiments de dragage sont définis par les codes suivants :
 - 17 05 05*** : Boues de dragage contenant des substances dangereuses
 - 17 05 06** : Boues de dragage autres celles visées à la rubrique 17 05 05*.

2.2 Normes

NF EN 14899 – Caractérisation des déchets – Prélèvement des déchets –

2.3 Guides et schémas de référence et documents de recommandations

Différents guides méthodologiques, rapports de synthèse ou schémas de référence ont été mis en place pour contribuer à la gestion à terre des sédiments contaminés. Une liste, non exhaustive est donnée ci-dessous :

- **Guide pour la gestion des opérations de dragage**, In Vivo, FFPP, décembre 2005, 83 p. :
http://www.invivo-environnement.com/UserFiles/File/GuideDragageFFPP_lite2005.pdf
- **Dragage d'entretien des voies navigables, Aide à l'élaboration et au suivi d'un plan de gestion pluriannuel**, CETMEF, mai 2011
- **Guide sur l'évaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et de rejet en mer de matériaux marins et estuariens**, Groupe GEODE, en cours d'élaboration. Adresse de téléchargement de la présentation du futur guide :
http://www.paralia.fr/jngcgc/12_110_droit.pdf
- **Guide méthodologique pour l'évaluation des risques écologiques liées à la restauration de carrières de la zone littorale à l'aide de sédiments de dragage portuaires**, Tome 1, ENTPE, INSA de Lyon, BRGM, INERIS, CNRS, INSAVALOR, IN VIVO, CETMEF, CG 29, Cg 83, 2012. Guide issu des travaux du programme ANR SEDIGEST. Adresse de téléchargement :
http://www.sedigest.org/documents/Sedigest_Guide_pour_EDR_Ecologiques.pdf?8a28b13737adb89002f59262ef13e0d5=9219a05e45a69fc2c077f803cbe93e4b
- **Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion**, GEODE, Décembre 2012 Adresse de téléchargement :
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_methodologique_Suivi_Dragage_Immersion_.pdf
- **Schéma de référence des dragages du Morbihan, 2010**. Adresse de téléchargement :
http://www.morbihan.equipement-agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/SRD_08_2010_cle79e86e.pdf
- **Dragage en milieu marin, immersion et code de l'environnement : le guide des procédures préalables**, CETMEF, 2008. Adresse de téléchargement :
http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/C_08-06_cle2d68d1.pdf
- **Evaluation des incidences des dragages des chenaux de navigation et des immersions sur l'état de conservation des sites Natura 2000, Guide méthodologique**, Groupe GEODE, ENS N°63001Em, mars 2008. Adresse de téléchargement :
http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_evaluation_incidences_dragages_cle1d7b15.pdf
- **Recommandations pour la détermination d'objectifs de gestion d'un estuaire au regard des opérations de dragage et d'immersion**, Groupe GEODE, ENS N°63001Em, mars 2008. Adresse de téléchargement :
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2B_GEODE_Recommandations_gestion_version_0308.pdf
- **Guide technique régional relatif à la méthodologie de gestion des sédiments de dragage portuaires**, PREDIS Nord Pas de Calais, Groupe de

- Travail N°5, 2006. Adresse de téléchargement : http://www.cd2e.com/sites/default/files/Cd2eStatic_contenu/predis/classeur2.pdf
- **Les dragages d'entretien des chenaux de navigation dans les estuaires français - Evaluation des incidences au regard de la conservation des sites Natura 2000- Proposition pour de bonnes pratiques de dragage**, Groupe GEODE, 2006. Adresse de téléchargement : http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Synthese_guide_geode_cle716eb9.pdf
 - **Aide à la gestion alternative au rejet en mer de sédiments contaminés provenant du dragage de sites portuaires**, BRGM, rapport BRGM/RP-53470-FR, 2004. Adresse de téléchargement : www.brgm.fr/Rapport?code=RP-53470-FR.pdf
 - **Guide méthodologique, Enlèvement des sédiments, Evaluation Détaillée des Risques liés à la gestion des sédiments et aux opérations de curage**, santé humaine, ressource en eau, EDR sédiments, Groupe de Travail Opérationnel de la Thématique Sédiments Pollués du Pôle de Compétence Sites et Sols Pollués, 2002. Adresse de téléchargement : http://www.eau-artois-picardie.fr/IMG/pdf/etude_11.pdf
 - **Dragages et environnement marin, état des connaissances**, IFREMER, 1999. Adresse de téléchargement : <http://archimer.ifremer.fr/doc/1999/rapport-1040.pdf>

3 Origine, élaboration, stockage

3.1 Origine

L'appellation « sédiments de dragage » correspond aux boues formées par sédimentation dans les cours d'eau, les plans d'eau, les canaux, les barrages et les ports fluviaux ou maritimes. L'opération de dragage qui consiste à retirer une partie de ces sédiments, est souvent nécessaire afin de rétablir un tirant d'eau pour la navigation ou pour prévenir les risques d'inondation. Les sédiments de dragage sont un mélange de sables, de limons et d'argiles (hors déchets anthropiques, tels que des pneus, bouteilles, carcasses de voitures/vélos, ... et par opposition aux graves et cailloux extraits des lits de rivières comme matériaux, dans le cadre du code minier).

On distingue les sédiments marins, extraits des ports et des estuaires, des sédiments continentaux, extraits des cours d'eau, canaux, plans d'eau, retenues d'eau et zones portuaires fluviales (**MEDD, 2002**).

Entre 1990 et 2000, les motivations de dragage des sédiments continentaux ont été : le maintien de la navigation (51% des 1483 opérations de dragage et 43% du volume de sédiments dragués), la lutte contre les inondations (23% des opérations et 32% du volume), le maintien de la bonne qualité environnementale des sites (18% des opérations et 12% du volume), l'exploitation (7% des opérations et 10% du volume) et le tourisme (1% des opérations et 3% du volume) (**MEDD, 2002**).

3.2 Elaboration

a) Sédiments marins

La répartition de l'utilisation des techniques de dragage des sédiments marins est présentée dans le tableau 1 (**Le Guyader et Colin, 2012**). Elle a été étudiée pour les 7 Grands Ports Maritimes (GPM de Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes-Saint-Nazaire, la Rochelle, Bordeaux, Marseille) et pour les autres ports français.

Tableau 1 : Répartition des pratiques de dragage pour les sédiments marins, d'après l'Enquête Dragage de 2009 du CETMEF (**Le Guyader et Colin, 2012**), pour les 7 Grands Ports Maritimes et les autres ports français. Résultats exprimés en % par rapport à la masse de matière sèche draguée dans les ports considérés.

	Pour les 7 Grands Ports Maritimes Français (2009)	Pour les autres ports (2009)
Dragage hydraulique	77.5%	78.1%
Dragage mécanique	0%	18.4%
Dragage mixte (hydraulique+mécanique)	17.6%	1.6%
Dragage par injection d'eau	4.9% ^a	0%
Rotodévasage	-	1.7% ^b

^a : utilisé uniquement dans le Grand Port Maritime Nantes-Saint-Nazaire

^b : utilisé dans le département de Charente-Maritime

b) Sédiments continentaux

Pour les sédiments de dragage continentaux, les différents modes de dragage sont :

- le dragage en eau, qui consiste en la remise en suspension des sédiments. Sous l'influence du courant naturel ou d'un courant artificiel entretenu, les sédiments sont éparpillés ou transférés vers une zone définie ;
- le dragage mécanique (Figure 1) qui s'effectue par l'action mécanique d'un outil (benne, godet, ...) directement sur les matériaux à draguer ;
- le dragage hydraulique qui utilise des pompes centrifuges, aspirant à travers un tube d'élinde (bras mécanique), muni d'un embout (bec d'élinde), un mélange eau-sédiments. Ces pompes aspirent et refoulent les sédiments sous forme de boues liquides dont la teneur en eau varie autour de 85% ;
- le dragage pneumatique, qui fonctionne selon le même principe qu'avec les dragues hydrauliques, mais avec une aspiration générée par des pompes à air comprimé.

Le choix de la technique d'extraction est fonction des contraintes liées à l'ensemble des opérations de dragage. Le mode de dragage conditionne fortement le mode de traitement, d'élimination ou de valorisation des sédiments et réciproquement.



Figure 1 : Dragage mécanique à pelle et chaland «Combattant » associé (Source : Bénéard)

Entre 1990 et 2000, les sédiments continentaux ont été dragués par drague mécanique (57% des 1483 opérations de dragage, 41% des 31 000 000 m³ des sédiments dragués), drague à l'américaine (23% des opérations et 34% du volume des sédiments) et drague hydraulique (6% des opérations et 17% du volume) (MEDD, 2002). Pour cette même période, le coût moyen du m³ de sédiments dragués varie selon les maîtres d'ouvrage : 13.75 € pour les Voies Navigables de France, 13€ pour les collectivités, 11.5€ pour Electricité de France, 11€ pour l'Etat et 5.75€ pour la Compagnie Nationale du Rhône et le coût total annuel a été de 26 millions d'€/an (MEDD, 2002).

3.3 Stockage

a) Sédiments marins

La grande majorité des sédiments marins sont immergés au large des côtes. Le dépôt à terre ou en mer (chambres de dépôt localisées au sein des ports) est pratiqué pour les sédiments contaminés, c'est-à-dire dont les concentrations des contaminants sont supérieures aux seuils N1 et N2 des arrêtés du 9 août 2006 et du 23 décembre 2009. La répartition des filières de gestion des sédiments marins pour les 3 façades maritimes (Manche-Nord, Atlantique, Méditerranée) est présentée dans le tableau suivant (Le Guyader et Colin, 2012).

Tableau 2 : Répartition des filières de gestion des sédiments marins, selon l' « Enquête Dragage 2009 » (Le Guyader et Colin, 2012). Pourcentages calculés par rapport aux masses de matières sèches de sédiments

	Manche-Nord	Atlantique	Méditerranée
Immersion	95.19%	98.71%	97.23%
Rechargement de plages	0.07%	1.11%	1.06%
Dépôt à terre	4.72%	0.16%	0.96%
Dépôt en mer		0.02%	0.75%
Autres traitements	0.01%		

b) Sédiments continentaux

Historiquement, les sédiments continentaux prélevés dans les différentes voies d'eau étaient déposés sous forme de régalage le long des berges ou par épandage sur des parcelles agricoles. Aujourd'hui ces pratiques deviennent plus rares en raison de la densité de plus en plus importante de zones urbaines près des voies d'eau, mais surtout en raison des connaissances sur la qualité des sédiments et la prise en compte de l'environnement. A ce jour, les Voies Navigables de France déposent les sédiments sur des terrains identifiés, dont ils sont propriétaires (à une exception) (VNF, 2008). Dans la région Nord-Pas de Calais, 183 terrains de dépôt ont été recensés (VNF, 2008). Ils sont répartis le long des voies d'eau et sur les 7 territoires de la région Nord-Pas de Calais (tableau 3). VNF a également estimé ses besoins de stockage entre 2007 et 2027, le nombre de terrains pressenti pour ce stockage ainsi que les capacités d'accueil (tableau 4).

Tableau 3 : Bilan des terrains de dépôts de VNF, des volumes associés et des capacités d'accueil en 2007 pour la Région Nord-Pas de Calais (VNF, 2008)

Subdivision	Nombre de terrains existants (en 2007)	Volume de matériaux déjà déposés en 2007 (*1000 m ³)	Nombre de terrains pouvant accueillir des dépôts (en 2007)	Capacité disponible en 2007 (*1000 m ³)
Cambrai	23	948	7	128
Douai	28	5 245.5	10	745.45
Dunkerque	24	2 902.282	18	1 363.49
Lille	24	4 837.768	5	1 455
Maubeuge	4	242.741	0	0
Saint-Omer	47 + 1 ^a	8 132	19 + 1 ^a	1 258.2 + 15*
Valenciennes	32	10 354	20	7 325.63
TOTAL	183	32 662.3	80	12 290.77

^a terrain en location par VNF

Tableau 4 : Estimation par VNF des besoins de dépôts des sédiments continentaux de la région Nord-Pas de Calais entre 2007 et 2027, nombre de terrains de dépôts pressentis et estimation de la capacité d'accueil (VNF, 2008)

Subdivision	Capacité de dépôt nécessaire entre 2007 et 2027 (*1000m ³)	Nombre de terrains pressentis	Capacité disponible ^a (*1000m ³)
Cambrai	632	11	610.437
Douai	693.55	8	1 374.685
Dunkerque	-	12	1 021.117
Lille	340.21	3	310
Mauberge	195	5	442.595
Saint-Omer	-	15	2 601.09
Valenciennes	-	0	0
TOTAL	1860.76	54	6 359.924

^a capacité disponible estimée en considérant une hauteur de dépôt de 3m

4 Caractéristiques physico-chimiques

a) Sédiments marins

La coupure granulométrique effectuée sur les sédiments est en général répartie de la manière suivante : <2µm (argiles), entre 2 et 63µm (limon) et >63µm (sable).

Une étude statistique de la répartition granulométrique a été réalisée à l'échelle nationale sur 710 données de sédiments fournies, entre autres par le réseau REPOM (Réseau national de surveillance des ports maritimes), le projet SEDIMARD et le projet PROPSÉD (Padox *et al.*, 2010). Les résultats de l'étude sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Répartition granulométrique de sédiments marins, selon une étude statistique réalisée sur 710 données de sédiments à l'échelle nationale (Padox *et al.*, 2010).

	< 2µm (%)	Entre 2 et 63µm (%)	> 63 µm (%)
Moyenne	8.11	60	31.9
Minimum	0	0.1	0
Maximum	52.3	90.8	99.9

Cette même étude statistique a également considéré le taux de carbone organique et la concentration en azote Kjeldahl dans les sédiments marins. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Synthèse des résultats de l'étude statistique des teneurs en COT et en azote Kjeldahl réalisées à l'échelle nationale sur des échantillons de sédiments marins (**Padox et al., 2010**).

	COT (%) (772 données)	Azote Kjeldahl (mg/kg) (316 données)
Moyenne	2.6	3076
Minimum	0.0041	200
Maximum	25.25	24000

D'autres exemples de données de sédiments localisés sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Quelques exemples de caractéristiques physiques de sédiments marins

Source	Zentar et al., 2009				Miraoui et al., 2009	Boutouil et al., 2012	Levacher et al., 2009
Localisation	Dunkerque				Dunkerque	Manche	Arcachon
	Port Est	Port Est	Port Ouest	Port Ouest			
(%) <2µm	10.33	9.93	13.03	14.01	8.5		
2µm<($2\mu\text{m}$)$63\mu\text{m}$	89.66	86.84	80.79	80.10	80		
(%) >63µm	0.01	3.23	6.18	5.89	2.5		
Teneur en eau (%)	122	118	148	150			
Taux de matière organique (%)	9.7	9.3	7	6.7	6.8	17	12
Densité	2.48	2.49	2.53	2.53			
Masse volumique (kg/m ³)					2440		

Les minéraux observés dans les sédiments marins et leur formule chimique sont synthétisées dans le Tableau 8. Les données sont extraites des travaux de **Achard et al., 2012**; **Cassat et al., 2012**, **Mamindy-Pajany et al., 2008**, **Le Guern et al., 2004**, **Sarradin et al., 1995**.

Tableau 8 : Synthèse des minéraux identifiés dans les sédiments marins et formule chimique associée

Classe chimique	Minéral	Formule
Phyllosilicates	Muscovite	$K Al_2 (Si_3 Al)O_{10} (OH,F)_2$
	Kaolinite	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$
	Clinochlore	$(Mg,Fe+2)5 Al (Si_3 Al) O_{10} (OH)_8$
	Smectite (Groupe de)	$Al-Si-O-OH-H_2O$
	Illite	$K_{0.65} Al_2 [Al_{0.65} Si_{3.35} O_{10}] (OH)_2$
	Chlorite	$(Fe, Mg, Al)_6 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_8$
Silicates	Mullite	$Al_2 (Al_{2.8} Si_{1.2}) O_{9.6}$
Feldspath Plagioclase	Albite	$Na Al Si_3 O_8$
	Microcline	$K Al Si_3 O_8$
	Orthoclase	$K Al Si_3 O_8$
Halogénures	Halite	$Na Cl$
Oxydes	Quartz	$Si O_2$
	Hématite	$Fe_2 O_3$
Carbonates	Calcite	$Ca CO_3$
	Dolomite	$Ca Mg (CO_3)_2$
	Aragonite	$Ca CO_3$
	Vaterite	$Ca CO_3$
Sulfures	Pyrite	$Fe S_2$
Sulfates	Anhydrite	$Ca SO_4$
	Bassanite	$2Ca SO_4 H_2O$
	Alunite	$K Al_3 (SO_4)_2 (OH)_6$
	Syngenite	$K_2 Ca (SO_4)_2 H_2O$
Phosphates Composés organiques	Sarcopside	$(Fe,Mn,Mg)_3 (PO_4)_2$
	CxHyOz	

c) Sédiments continentaux

La répartition granulométrique, la teneur en COT et en azote Kjeldahl de sédiments continentaux ont été étudiées à l'échelle nationale et Wallone à partir de la compilation de données de VNF, d'Agences de l'Eau et du Service Public de Wallonie (tableau 9) (**Padox et al., 2010**).

Tableau 9 : Données statistiques à l'échelle nationale et wallone de la répartition granulométrique, des teneurs en COT et azote Kjeldahl dans des sédiments continentaux (**Padox et al., 2010**)

	Granulométrie			COT (mg/kg MS)	Azote Kjeldahl (mg/kg MS)
	0<x<2µm (%)	2<x<50/63µm (%)	50/63<x<2000µm (%)		
Moyenne	14.4	47.4	38.2	42 085	2 975
Médiane	11.9	52.3	29.5	34 000	2 300
Minimum	0	0	0.01	16	0.05
Maximum	55.7	93.7	100	758 000	53 600

Les données statistiques de concentrations en contaminants sont présentées dans le tableau 10. Elles sont également issues de la compilation de données française de VNF, d'Agences de l'eau et de données wallonnes (**Padox et al., 2010**).

Tableau 10 : Données statistiques à l'échelle nationale et wallone des concentrations en métaux, métalloïdes, HAP et PCB dans les sédiments continentaux (**Padox et al., 2010**)

	Moyenne (mg/kg MS)	Médiane (mg/kg MS)	Minimum (mg/kg MS)	Maximum (mg/kg MS)
Métaux				
Arsenic	12.4	7.27	0.01	1 005
Cadmium	10.2	0.65	0.002	7 285
Chrome	52.1	36	0.05	5 300
Cuivre	48.5	21.7	0.01	4 330
Mercure	1.22	0.13	0.002	200
Nickel	26.8	19	0.02	2 380
Plomb	122	32.6	0.02	50 420
Zinc	446	130	0.01	142 500
Contaminants organiques				
Somme 16 HAP	8.71	1.47	0.01	3 363
Somme 7 PCB	0.20	0.057	7 ^e -5	798

Dans son étude statistique, **Padox et al., 2010** a également étudié la répartition des contaminants par secteur géographique. En raison de difficultés rencontrés par les différences de limites géographiques utilisées par les gestionnaires de sédiments, les données des Agences de l'Eau sont séparées de celles de VNF et du Service Public de Wallonie (SPW) (Tableau 11).

Tableau 11 : Médianes des concentrations de contaminants présents dans des sédiments continentaux français et wallons, exprimées en mg/kg MS, selon les travaux de **Padox et al., 2010**. AE : données fournies par les Agences de l'eau ; VNF+ SPW : données fournies par Voies Navigables de France et le Service Public de Wallonie

	Wallonie	Nord	Bassin de la Seine	Ouest et Centre	Nord-Est	Sud-Ouest	Sud-Est
Arsenic (AE)		4.50		12.30	13.10	8.70	7.20
Arsenic (AE+SPW)	7.70	7.41	5	19	8.90	19	7.48
Cadmium (AE)		0.60		0.70	0.50	0.30	0.30
Cadmium (VNF+SPW)	3.23	2.60	0.50	0.70	0.58	1	0.70
Chrome (AE)				37	45	22	30
Chrome (VNF+SPW)	63	60.25	18.25	38	54	40	23.50
Cuivre (AE)		23		17.40	36	15	18
Cuivre (VNF+SPW)	67	41.70	14.10	30	30.90	72	20
Mercure (AE)		0.20		0.10	0.20	0.06	0.05
Mercure (VNF+SPW)	0.53	0.55	0.13	0.10	32.7	0.50	0.10
Nickel (AE)		16		19	26	14.40	18.20
Nickel (VNF+SPW)	32	27.90	8.70	29	28.30	24	17
Plomb (AE)		39		26.60	44.90	22	20.10
Plomb (VNF/SPW)	149	104	20.70	42	0.30	28	18.50
Zinc (AE)		170		116	212	91.90	73.30
Zinc (VNF+SPW)	805	357	76.70	175	126	104	146
16 HAP (AE)		3.87		0.79	1.28	0.05	0.98
16 HAP (VNF+SPW)	7.25	8.77	3.75	7.45	2.42	5	
7 PCB (AE)		0.015		0.07	0.035	0.035	0.07
7 PCB (VNF+SPW)	0.032	0.077	0.015	0.002	0.061	0.020	

5 Caractéristiques géotechnique et mécanique

Des sédiments marins issus de dragages d'entretien (Ports méditerranéens, Port de La Baule-Le Pouliguen), de dragages curatifs (Arcachon) et de dragages résultant de

l'exploitation des granulats en mer (Port de Fécamp) ont fait l'objet d'une caractérisation géotechnique de base. Elle a porté sur la nature granulométrique (dimensions et nature des grains), sur les teneurs en eau initiales, sur les teneurs en matières organiques, carbonates de calcium et en argiles). Cette caractérisation géotechnique de base fournis les paramètres déterminants à l'entrée des filières de valorisation «matériau». Dans le cadre de cette étude, le scénario de valorisation des sédiments solidifiés/stabilisés en sous couche routière a été retenu avec suivi des indicateurs de résistance en compression et en traction directe. Selon les caractéristiques des sédiments marins, divers liants et ajouts avec des proportions variables ont été testés en vue d'améliorer les propriétés mécaniques des sédiments. Cette étude conclue en la possibilité de la valorisation des sédiments en sous-couche routière (classe S1 à S5). La teneur en matière organique des sédiments marins influence fortement l'efficacité du traitement des sédiments marins aux liants (Liang, 2012).

Dans le cadre de la valorisation de sédiments en technique routière (Grand Port Maritime en 2005), le module d'élasticité et la force de compression diamétrale ont été déterminés pour les sédiments prélevés après une expérimentation de 6, 9 et 12 mois (Figure 2). Les résultats obtenus confirment que, selon la norme NF P98-114-3, le matériel fait parti de la classe 2, ce qui est le minimum requis pour un matériel utilisé comme sous-couche et couche de base avec une faible intensité de trafic. Avec le temps, les caractéristiques mécaniques du matériel ne semblent pas se détériorer (Zentar et al., 2008).

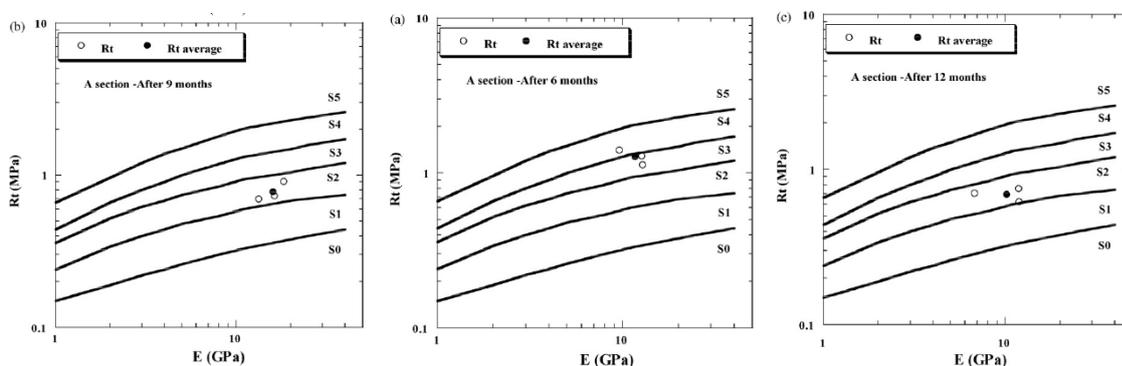


Figure 2 : Force de compression diamétrale vs. module d'élasticité (Young) des échantillons de carottage de couche de base (Zentar et al., 2008)

6 Caractéristiques environnementales

Planche d'essai réalisée au Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD)

En octobre 2005, une planche expérimentale de valorisation de sédiments en technique routière a été réalisée dans l'enceinte du Grand Port Maritime de Dunkerque avec un mélange de sable de dragage et de liants routiers. La formulation contenait 32,4% de sédiments¹, dont 63,3% de particules inférieures à 63µm, 60,2%

¹ Caractéristiques disponibles des sédiments présentés dans Zentar et al., 2008 : masse volumique : 2.53 g/cm³ ; valeur au bleu de méthylène : 3.1 ; WL : 102 % ; Wp : 46 % ; Ip : 56 % ; <2 µm : 5.3% ; entre 2 µm et 63 µm : 59.7% ; < 63 µm : 36% ; taux de matière organique : 6.7%.

de sable de dragage, 1,85% de chaux et 5,55% de ciment, pour une teneur en eau optimale de 11,6%.

La surface de la planche a été fixée à 300 m² (50 m de long et 6 m de large), ce qui correspond à la largeur type d'une voie de circulation. La couche de roulement a une épaisseur de 5 cm, et la couche d'assise est de 24 cm avant réglage, la zone de feuillette de 3 cm (ôtée en surface) et l'épaisseur avant réglage de la couche de matériaux traités est de 27 cm. Le fond de forme a été réalisé avec des sables de dragage, jusqu'à un niveau de - 31 cm par rapport au terrain naturel. Le matériau a subi un passage de compacteur à rouleaux, sans effets de vibration, afin d'apporter une consistance au fond de forme.

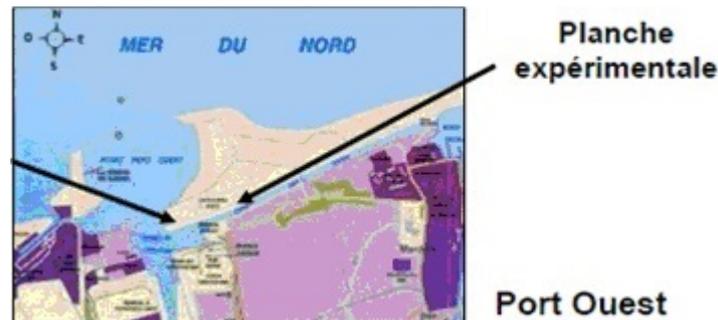


Figure 3 : Localisation de la planche expérimentale, Port de Dunkerque (Abriak, 2006)

Les sédiments présentent une teneur en eau initiale importante, une faible portance, une quantité non négligeable de fractions fines et un taux élevé de matières organiques. Le principal facteur limitant étant la teneur en eau du sédiment, celle-ci doit se situer entre 12 et 14% (Abriak, 2006).

Essai de lixiviation et comportement à long terme des sédiments (Zentar et al., 2008)

Cette planche expérimentale a été soumise à une pluviométrie moyenne de 650 mm avec des températures variant de 0 à 25 °C. Des carottages ont été réalisés à 6, 9 et 12 mois, puis soumis à des tests de lixiviation en batch, pendant 24 h, selon le protocole de la norme EN 12457-2. Les résultats sont présentés dans le tableau 12.

Le pH du lixiviat est de 8, la conductivité de 8.8 mS/cm et tous les métaux/métalloïdes analysés (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn) sont en dessous du seuil de détection et inférieurs aux seuils des déchets inertes. La concentration en chlorure est de 32 700 mg/kg et celle des sulfates de 3100 mg/kg. Les concentrations des métaux et métalloïdes dans le sédiment brut ne sont pas mentionnées.

Tableau 12 : Résultats des tests de lixiviation EN 12457-2 sur les sédiments bruts, les matériaux routiers initiaux, les matériaux routiers carottés et lixivés à 6, 9 et 12 mois. Comparaison avec les concentrations seuils de la Décision 2003/33/CE** (Zentar et al., 2008)

	Sédiments bruts	Matériau routier broyé à T=0	Matériau routier broyé à 6 mois	Matériau routier broyé à 9 mois	Matériau routier broyé à 12 mois	Décision 2003/33/CE
	Mélange en laboratoire	Formulation en laboratoire	Formulation sur site			
FS (% MS)	-	2.84	2.16	1.93	2.03	<0.4
pH	8	12.62	12.56	12.67	12.72	-
Conductivité (mS/cm)	8.80	8.50	7.75	7.12	7.61	-
As (mg/kg)	<0.5	<0.5	0.036	0.024	0.05	<0.5
Ba (mg/kg)	-	-	0.020	2.770	2.060	<20
Cd (mg/kg)	<0.05	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.04
Cr (mg/kg)	<0.1	0.140	0.013	0.254	0.012	<0.5
Cu (mg/kg)	<0.5	<0.5	0.9	0.076	0.195	<2
Hg (mg/kg)	<0.01	<0.01	0.018	<0.01	<0.01	<0.01
Mo (mg/kg)	-	<0.1	0.012	0.036	0.036	<0.5
Phénols (mg/kg)	<0.1	<0.5	<0.5	<0.05	<0.05	<1
Ni (mg/kg)	<0.4	<0.4	0.320	0.222	0.310	<0.4
Pb (mg/kg)	<0.05	<0.05	0.020	<0.01	0.013	<0.5
Sb (mg/kg)	-	<0.05	0.011	<0.01	<0.01	<0.05
Se (mg/kg)	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1
Zn (mg/kg)	<0.5	<0.05	0.060	0.097	0.084	<4
F (mg/kg)	7.8	9.5	11	7.2	<5	<10
Cl (mg/kg)	32 700	6916	1400	667	1800	<800
NO ₃ (mg/kg)	<100	<100	<100	3.200	3.400	-
PO ₄ (mg/kg)	-	-	-	9	17	-
Sulfates (mg/kg)	3100	340	-	51	106	<1000
COT (mg/kg)	250	355	224	168	284	<500

** Décision 2003/33/CE du 19/12/2002 établissant des critères et procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la Directive 1999/31/CE

Cette première planche n'a jamais été soumise à la circulation ; par conséquent, aucun retour sur la résistance, le compactage de la couche face au trafic n'a été possible. Le bilan de cette première planche expérimentale a permis de valider le passage de la phase « laboratoire » à une phase « exécution ».

L'étude de la dynamique des contaminants inorganiques réalisée dans le cadre de la gestion à terre des sédiments de dragage contaminés a permis non seulement d'estimer les quantités de contaminants potentiellement relarguées en conditions

spécifiques, aux travers de différents essais de lixiviation (batch, colonnes et lysimètre), mais aussi d'évaluer la spéciation et le transport des contaminants à partir du code géochimique. Les principaux mécanismes de lixiviation ou de sorption ont pu être correctement décrits pour les éléments majeurs Al, Fe, Ca, H_4SiO_4 , Mg et Mn, ainsi que pour les éléments potentiellement toxiques Cd, Cr, Cu, MoO_4 , Pb et Zn. Les résultats indiquent une lixiviation très faible à pH environnemental et un maximum de libération à pH acide et alcalin. Seul MoO_4^{2-} présente une faible solubilité pour des valeurs de pH < 5 (induite par la précipitation de wulfénite) et une solubilité maximale pour une gamme de pH allant de 6,5 à 12. Les résultats expérimentaux menés en laboratoire, en lysimètre et les modèles suggèrent que MoO_4^{2-} est une espèce particulièrement mobile et qu'elle peut limiter la valorisation des sédiments de dragage (Achard 2013).

Comportement par lixiviation des sédiments issus de VNF

Une étude a été réalisée à partir des données des Voies Navigables de France, des Agences de l'Eau Adour Garonne, Artois Picardie, Loire Bretagne, Rhin Meuse et Rhône Méditerranée Corse, ainsi que des données du Service Public de Wallonie (Belgique). Elle porte sur 12 850 échantillons de sédiments fluviaux couvrant une période de 28 ans. Différents paramètres ont été synthétisés dont ceux de la lixiviation par un essai selon la norme NF EN 12457-2 concernant 8 métaux. Les résultats statistiques portant sur 567 dont 560 issus de VNF Bassin de la seine sont représentés dans le tableau 13 (Padox et al. 2010). Les valeurs moyennes sont inférieures aux seuils d'acceptation pour les déchets inertes de la décision 2003/33/CE.

Tableau 13 : Synthèse des résultats statistiques de lixiviation des contaminants inorganiques, issue des travaux de **Padox et al., 2010**, à partir de données fournies par VNF

	Moyenne (mg/kg MS)	Médiane (mg/kg MS)	Minimum (mg/kg MS)	Maximum (mg/kg MS)	Décision 2003/33/CE
Arsenic	0.08	0.05	0.02	1.10	0.5
Cadmium	0.01	0.01	0.002	0.43	0.04
Chrome	0.06	0.05	0.01	1.60	0.5
Cuivre	0.10	0.10	0.01	4	2
Mercure	0.01	0.01	0.002	0.201	0.01
Nickel	0.05	0.05	0.01	0.50	0.4
Plomb	0.06	0.02	0.02	1.10	0.5
Zinc	0.43	0.20	0.01	41.90	4

Des tests écotoxicologiques ont été réalisés par la Direction Bassin de la Seine de VNF dont les résultats sont présentés dans le tableau 14 (Padox et al., 2010)

Le test daphnies indique la concentration, notée CE50 en pourcentage de dilution du lixiviat, du produit pour obtenir une immobilisation de 50% de la population sous 48 heures. En tenant compte du faible nombre des tests réalisés (7), les auteurs signalent que les résultats transmis n'indiquent pas d'écotoxicité et donc de dangerosité au regard du critère retenu par VNF et par le MEEDDM (écotoxique si CE50 < 10%).

Le test Brachionus indique la concentration, notée CE20 en pourcentage de dilution du lixiviat, du produit pour obtenir une inhibition de 20% de la population sous 48 heures. Un sédiment est considéré écotoxique et dangereux par VNF lorsque le résultat du test est inférieur à 1 %. Le taux de sédiments classé dangereux par ce test est de 3.5% des sédiments testés (Padox et al., 2010).

Tableau 14 : Statistiques descriptives pour les tests d'écotoxicologie, d'après l'étude statistique de **Padox et al, 2010** réalisée à partir de données de VNF Bassin de la Seine

	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum
Test Brachionus CE20 (%) ^a	61.9	23.8	0.17	100
Test Daphnies CE50 (%) ^b	90	90	90	90

^a : Concentration du lixiviat pour obtenir une inhibition de 20% de la population sous 48 heures, exprimée en pourcentage de dilution du lixiviat

^b : Concentration du lixiviat pour obtenir une immobilisation de 50% de la population de Daphnies sous 48 heures, exprimée en pourcentage de dilution du lixiviat

Evaluation des risques pour les écosystèmes lors d'une valorisation en remblaiement de cavités terrestres

Un guide concernant l'évaluation des risques pour les écosystèmes lors d'une valorisation en remblaiement de cavités terrestres (**Perrodin et al., 2012**) a été élaboré à la suite du projet SEDIGEST (Gestion durable des sédiments de dragages des ports). L'objectif est de fournir les éléments nécessaires à la réalisation d'une évaluation des risques écologiques (ERE) liés à la restauration de cavités terrestres de la zone littorale à l'aide de sédiments de dragages portuaires. Cette filière ne s'adresse pas aux sédiments susceptibles d'être clapés en mer, ni aux sédiments les plus pollués. L'ERE est généralement conduite à travers la caractérisation des trois composantes suivantes : la ou les sources d'émissions des polluants (ex. dépôt), les voies de transfert des polluants (percolation dans les sols et la zone non saturée du sol, ruissellement, etc.) et le ou les écosystèmes cibles (cours d'eau, mare, zone humide, etc.). Les quatre étapes d'identification du problème et des dangers, de caractérisation des expositions et d'évaluation des risques, classiques dans l'évaluation des risques, sont à mener dans le cadre de cette méthodologie.

7 Aspects sanitaires

7.1. Méthodologie et guide

- La méthode d'évaluation des risques sanitaires est mise en œuvre depuis le début des années 2000. Au niveau national, la démarche a été décrite dans deux guides (2000 et 2013 avec un projet du guide relatif aux sédiments).
- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact. **l'InVS (2000)**. Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires **INERIS (2013)**
- Projet du Guide pour l'évaluation des risques sanitaires (ERS) liés aux opérations de dragage et de rejet en mer de matériaux marins et estuariens **CETMEF**. L'objectif de ce guide est de constituer un ouvrage de référence pratique et opérationnel pour traiter l'évaluation des risques sanitaires dans les opérations de dragage et de rejet en mer mais également de proposer un référentiel commun aux différentes parties prenantes (services instructeurs, gestionnaires de port, bureaux d'études) et d'harmoniser les pratiques.

7.2. Evaluation des risques sanitaires des sédiments

Aux Etats-Unis, on estime qu'environ 10% des sédiments sont contaminés au point de causer un risque écologique ou sanitaire, notamment par le biais des poissons (EPA, 1997). Les matériaux de dragage seraient suffisamment contaminés pour justifier des précautions de gestion particulières (Cemagref, ENTPE, 2001).

8 Usages (Types d'infrastructures ; Retours d'expérience)

Une fois les sédiments extraits et ramenés à terre, le choix de leur filière de gestion doit satisfaire d'une part la conformité réglementaire, et d'autre part les conditions environnementales et l'utilisation de la meilleure technique disponible à un coût économiquement acceptable.

8.1 Infrastructure routière

La Route du « Freycinet 12 »

En juin 2012, une planche expérimentale d'environ 100 m² a vu le jour, la route du « Freycinet 12 ». Celle-ci dessert une société spécialisée dans le commerce de carburants. Cette chaussée, dont la durée de vie est estimée à une vingtaine d'années, peut supporter une centaine de poids lourds par jour. Elle est constituée d'une couche de fondation de 30 cm, elle-même constituée d'un mélange de sédiments non immergeable (1/3) et de sables (2/3), de 6 cm de couche de base et de 5 cm de couche de roulement. Le procédé mis en place est le même que celui utilisé en 2005 c'est-à-dire : épandage des sédiments, mélange avec le sable, traitement à la chaux puis avec un liant spécifique. Les 100 m² de chaussée ont été étanchés dans le but de récupérer et de suivre, sur plusieurs années, la qualité des effluents issus de la percolation de l'eau circulant à travers la chaussée.

D'autres projets ont également été réalisés :

- Valorisation de 800 000 m³ de sédiment en couche routière sur le Port 2000, du GPM du Havre,

8.2 Utilisation en Remblais

Bassin d'Arcachon

Deux projets de valorisation ont été réalisés par l'IFSTTAR à La Teste-de-Buch à environ 6 km d'Arcachon : une utilisation de sédiments en remblai technique recouvert (tranchée sous chaussée de 70m) et une utilisation en remblai non recouvert (tranchée en zone forestière de 70m avec géomembrane et de 70m sans géomembrane) (**Nedelec et al., 2011**). Les essais ont été réalisés avec un sable propre (GTR 92), un sable vasard issu d'un fond de bassin de stockage ainsi que des sédiments fins de piètre qualité (A4, 11% de matière organique et W_n>100%). Le sable représente environ 70% du mélange et les sédiments fins 30%, pour un classement cible en B5 ou B6.

La préparation du mélange a été réalisée sur une zone de dépôt provisoire de 1000 m². Le phasage du mélange a été réalisé comme suit (**Nedelec et al., 2011**) :

- 1) Epandage de 10 cm de sable

- 2) Epandage de 10 cm de sédiments fins
- 3) Aération et séchage des sédiments fins
- 4) Epandage de 20 cm de sable issu du bassin
- 5) Mélange intime du sable et des sédiments fins sur 30 cm.

L'appareil "Rotovator" et un broyeur à cailloux ont été testés pour la réalisation du mélange.

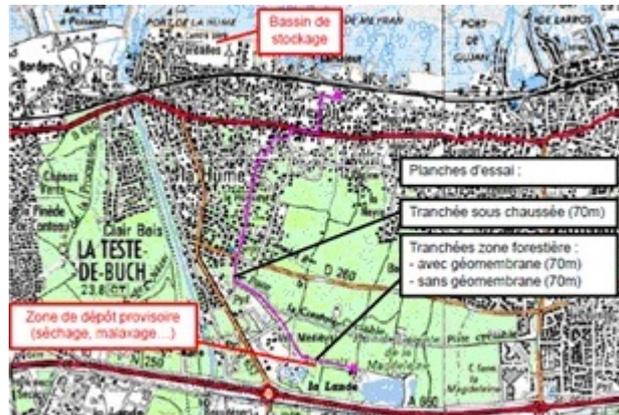


Figure 4 : Localisation du bassin de stockage des sédiments, de la zone de dépôt provisoire et des planches d'essais. (Nedelec et al., 2011).

Les schémas des utilisations en remblais non recouverts sont présentés sur les figures 5 et 6 :

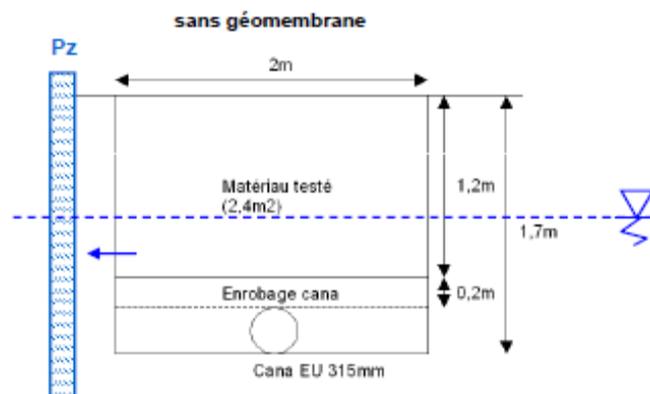


Figure 5 : Schéma de conception et photo de réalisation de la tranchée en zone forestière (remblai non recouvert sans géomembrane), (Nedelec et al., 2011)

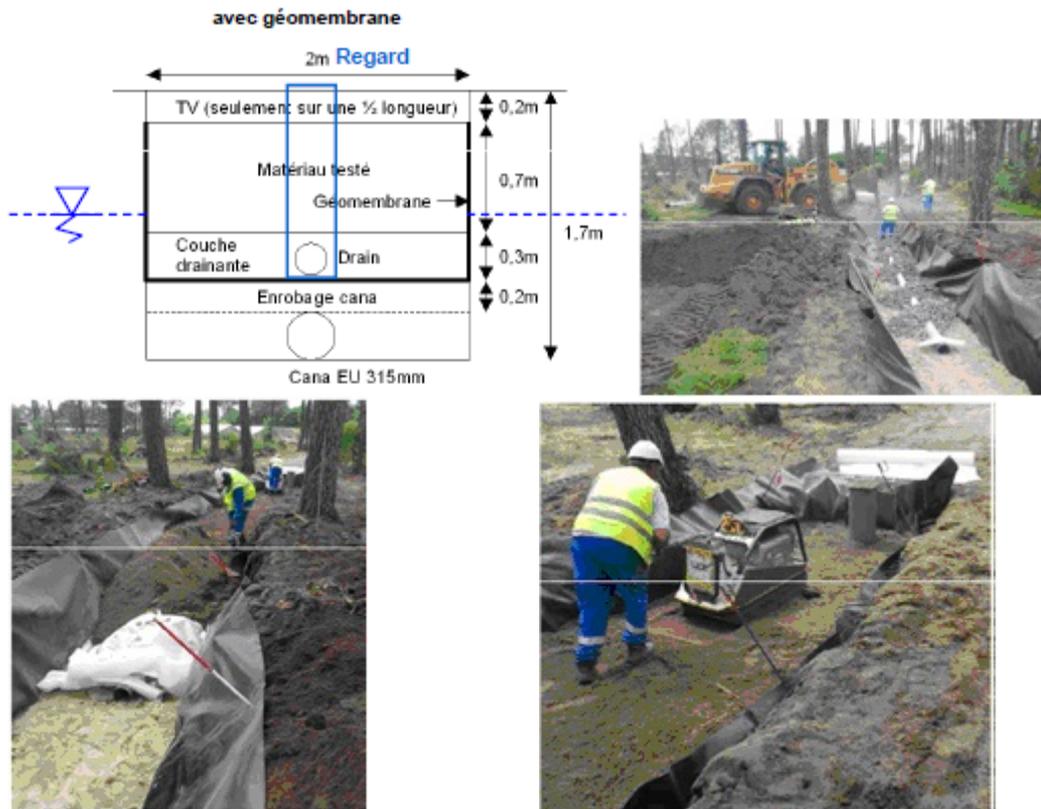


Figure 6 : Schéma de conception et photos de réalisation de la tranchée en zone forestière (remblai non recouvert avec géomembrane), (Nedelec et al., 2011)

Deux piézomètres ont été installés à côté de la tranchée sous chaussée (remblai technique recouvert), en considérant le sens supposé d'écoulement de la nappe. Quatre piézomètres ont été installés à côté de la tranchée en zone forestière, réalisée sans géomembrane (remblai non recouvert). Trois regards ont été disposés au sein de la tranchée avec géomembrane.

8.3 Procédé ECOVOIE : réalisation de voies vertes

ECOVOIE® est un procédé développé par la société ARD et basé sur le traitement des sédiments ou sols par un liant hyper-pouzzolanique (**ACTi.100®**) dans l'objectif de créer des chemins, places de stationnement ou voies circulées.

Des essais en laboratoire permettent d'ajuster au mieux la formulation et le dosage du liant, de vérifier les caractéristiques géotechniques et mécaniques afin de garantir une bonne portance et résistance sur le long terme. Des travaux de valorisation de sédiments non pollués par ce procédé ont déjà été menés depuis 7 ans (Figure 7). A l'issue de ces expérimentations, le vieillissement de la voie a été jugé normal. A l'heure actuelle, aucun chantier n'a permis la valorisation de sédiments pollués.



Figure 7 : Utilisation de la tange du Mont Saint Michel (Manche - 50), 70 000 m³ (source : SEDIGATE)

8.4 Usage béton

Italcementi

Le liant sulfo-alumineux AliEco® a été mis au point et breveté par Le Centre Technique du Groupe Italcementi, dans l'objectif de traiter des sédiments limoneux contaminés et de les valoriser dans des bétons. Les buts recherchés étaient l'obtention d'un matériau pelletable, permettant un bon écoulement en trémie de centrale à béton et avec une teneur en eau fixe pour être utilisable dans une formule béton. Des sédiments marins traités au liant AliEco® ont été introduits dans des formulations bétons pour la réalisation de cubes en béton, de type cube-acropode (Figure 8). Six cubes ont été réalisés: les cubes 1 à 3 contiennent 10% de sédiments traités, le cube 4, 13%, le cube 5, 14% et le cube 6, 16%. Il a été observé qu'une augmentation de l'incorporation du taux de sédiments traités entraîne un apport d'eau supérieur pour la prise du béton, ce qui accroît de la porosité du cube béton. Les cubes ont été démoulés à 24 heures. Une autorisation préfectorale ayant été obtenue, une campagne de fabrication de 200 acropodes béton sera réalisée mi-2012.



Figure 8: Fabrication des cubes-acropodes incorporant des sédiments traités au liant AliEco®.

SITA NORD

SITA Nord a également la volonté de mettre sur le marché un béton fabriqué à partir de sédiments fluviaux et de matériaux recyclés (sables de fonderies et gravats issus du BTP). Ainsi, SITA Nord en partenariat avec l'école des Mines de Douai et Néo-Eco a engagé un programme de recherche appliquée pour la valorisation de sédiments fluviaux et de déchets minéraux recyclés en mobilier et aménagements urbains. L'objectif est d'aboutir à la formulation d'un béton utilisé pour la réalisation d'éléments préfabriqués à vocation d'aménagement et de mobilier urbain. Après une première étape d'échantillonnage et de caractérisation, l'école des Mines de Douai a réalisé trois formulations différentes. Plusieurs dizaines de prototypes ont été réalisés en 2012. Le suivi afin de vérifier la qualité du béton et son innocuité environnementale est en cours (2013).

9 Références bibliographiques

- Abriak N.E, 2006, Valorisation des sédiments marins en BTP, Bilan global du projet Route expérimentale à base de sédiments marins, Ecole des Mines de Douai, Laboratoire de mécanique de Lille, Université d'Artois, Colas, CCB ITALCEMENTI Group, Port autonome de Dunkerque, Sita FD, Inertec, Lhoits 28/11/2006
- Achard Romain 2013. Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage. Rôle spécifique de la matière organique. Doctorat de l'Université du Sud Toulon Var Achard R., Bénard A., Campredon B., Merdy P., Lucas Y., 2012, Environmental behavior of inorganic pollutants present in raw and desalinated French marine sediments, WASCON 2012, Gothenburg, Suède
- Alzieu C., Dredging and Marine environment, IFREMER, 2005
- ANSES, Valeurs sanitaires de référence (VR) – Guide des pratiques d'analyse et de choix – Saisine n°2011-SA-0355 Adresse de téléchargement : <http://www.anses.fr/Documents/CHIM2011sa0355Ra.pdf>
- Bénard A., Hazebrouck B., 2009, Impacts sur les milieux aquatiques des sédiments de dragage gérés à terre. Problématique, contexte réglementaire, modélisation du transfert de contaminants organiques, rapport INERIS-DRC-08-95306-16457A
- Boutouil, Le Guern M., Saussaye, 2012, SETARMS Workpachage 3 Results, SMOCS-SETARMS workshop, 24 mai 2012, Uppsala, Suède. Site de téléchargement: <http://smocs.eu/wp-content/uploads/2012/09/KNOT-Lucile-Saussaye-Malo-Le-Guern.pdf>
- Cassat P., Moudilou E., Le Rolland B., 2012. Method of treating marine sediments and use of the resulting solid product in mortars or concretes.
- Cemagref et ENTP, 2001. Evaluation écotoxicologique de sediments contaminés ou de matériaux de dragage (Babut et Perrodin).
- CETMEF, CUR, CIRIA, 2009, Guide enrochement – Utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques, Version Française du Rock Manual. Adresse de téléchargement : <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/guide-enrochement-a130.html>
- Comité Régional de Gestion et de Valorisation des déchets du BTP et des co-produits industriels (CRGV), 2011, Filières de valorisation des déchets du BTP et

des co-produits industriels de la Région Nord-Pas de Calais. Guide d'aide à la décision à destination des Maîtres d'Ouvrage, Maîtres d'œuvre et Bureaux de Contrôle, avril 2011

- Guide SETRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements) Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière : Evaluation environnementale – mars 2011
- INERIS Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact ICPE-Substances chimiques, 2003 Adresse de téléchargement : <http://www.ineris.fr/fr/ressources/recherche/idiner=220>
- InVS, Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, 2000 Adresse de téléchargement : http://www.invs.sante.fr/publications/guides/etude_impact/
- Le Guern C., Conil P., Clozel B., Albrecht M., Levacher D., Proulhac N., Schwartz C., Baticle P., 2004, Aide à la gestion alternative au rejet en mer de sédiments contaminés provenant du dragage de sites portuaires, rapport final, BRGM/RP-53470-FR
- Le Guern C., Conil P., Clozel B., Albrecht M., Levacher D., Proulhac N., Schwartz C., Baticle P., 2004, Aide à la gestion alternative au rejet en mer de sédiments contaminés provenant du dragage de sites portuaires, rapport final BRGM/RP- 53470-FR, 235 p.
- Le Guyader C. et Colin F., CETMEF, 2012, Enquête "Dragage 2009", Synthèse des données, rapport, février 2012, adresse de téléchargement : <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/enquete-dragage-2009-synthese-des-a899.html>
- Levacher D., Liang Y., Zhang L., 2009, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 1, Hammamet, Tunisie
- Liang Y. 2012 Co-valorisation de sédiments et de sols fins par apport de liants et de fibres. Doctorat de l'université de Caen
- Mamindy-Pajany Y., Hurel C., Marmier N., Roméo M., 2008, Comportement de l'arsenic lors de la lixiviation d'un sédiment marin de dragage contaminé, Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis
- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD), 2002, Etudes sur l'eau en France N°89, Historique National des opérations de curage et perspectives, rapport de synthèse
- Miraoui M., Zentar R., Abriak N.-E, 2009, Mise en oeuvre d'une méthodologie pour la valorisation des sédiments de dragage maritime, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 1, Hammamet, Tunisie
- Nedelec Y., Gardet S., 2011, Valorisation de sédiments issus de dragages de chenaux et ports du bassin d'Arcachon, IFSTTAR, CETE, Les Plénières 2011 de l'IFSTTAR, Journées Géotechniques, du 8 au 10 novembre 2011, Cabourg, présentation powerpoint
- Padox J.M., Hennebert P., 2010, Qualité chimique des sédiments fluviaux en France, Synthèse des bases de données disponibles, rapport INERIS-DRC-10-105335-04971A

- Padox, J.M., Hennebert P., Mancioffi L., Bénard A., 2010, Qualité chimique des sédiments marins en France : synthèse des bases de données disponibles, rapport INERIS-DRC-10-105335-11618A
- Perrodin Y., Donguy G., Pandard P., Andres S., 2012. Guide méthodologique pour l'évaluation des risques écologiques liés à la restauration de carrières de la zone littorale à l'aide de sédiments de dragage portuaires prétraités. Adresse de téléchargement : http://www.sedigest.org/documents/Sedigest_Guide_pour_EDR_Ecologiques.pdf
- PREDIS Nord-Pas-de-Calais, 2006, Guide technique régional relatif à la méthodologie de gestion des sédiments de dragage portuaires, groupe de travail N°5
- Samara M., 2007. Thèse : Valorisation des sédiments fluviaux pollués après inertage dans la brique cuite. Université des Sciences et Techniques de Lille, Génie civil
- Sarradin P.M., Lapaquellerie Y., Astruc A., Latouche C., Astruc M., 1995, Long term behaviour and degradation kinetics of tributyltin in a marina sediment, The Science of the Total Environment, 170, 59-70
- Schéma de référence des dragages du Morbihan, août 2010, http://www.morbihan.equipement-agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/SRD_08_2010_cle79e86e.pdf
- VNF, Voies Navigables de France, 2008. Schéma directeur régional des terrains de dépôt. Adresse de téléchargement : <http://www.nordpasdecals.vnf.fr/schema-directeur-regional-des-r219.html>
- Voies Navigables de France, Direction régionale Nord-Pas de Calais, 2008, Schéma Directeur Régional des Terrains de Dépôt, octobre 2008
- Zentar R., Abriak N.E., Dubois V., 2009, Applied Clay Science, Effects of salt and organic matter on Atterberg limits of dredged marine sediments, Applied Clay Science, 42, 391-397
- Zentar R., Buboiss V., Abriak N.E., 2008, Mechanical behaviour and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediments, Resources, Conservation and Recycling, 52, 947-954
- Mouvet C., 2013, Test du protocole d'écotoxicologie (critère H14) pour l'évaluation du caractère dangereux de sédiments destinés à une gestion à terre, Rapport final BRGM/RP-61420-FR

10 Auteurs et relecteurs

Auteurs OFRIR2	Anne Bénard (INERIS), Marion Delplanque (INERIS), Rabia Badreddine (INERIS)
Relecture d'experts OFRIR2	Guillaume Gay (INERIS)
Relecture bureau	Laurence Château (ADEME)
Date de mise en ligne, version finale	Février 2014